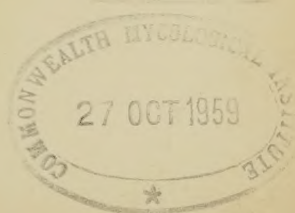
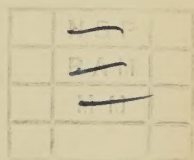


BULLETIN
DE
L'INSTITUT AGRONOMIQUE
ET DES
STATIONS DE RECHERCHES
DE
GEMBLoux



INSTITUT AGRONOMIQUE
DE L'ÉTAT
GEMBLoux (BELGIQUE)



Sommaire

DORMAL, S., MARTENS, P. H., DECLEIRE, M. & DE FAESTRAETS, L. — Étude de la persistance de résidus d'insecticides dans divers légumes frais, blanchis et stérilisés.	137
LEDENT, A. — Le prix des porcs de boucherie en Belgique, de 1948 à 1957.	148
MOËS, A. — Les mutations induites par les rayons X chez l'orge distique.	167
NISEN, A. — Contribution à l'étude des propriétés des matériaux de recouvrement des constructions horticoles et des conséquences de leur utilisation.	222

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an. Toutefois, provisoirement, le nombre des livraisons a dû être limité.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent volume : 60 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Établissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Bibliographie ».

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

Étude de la persistance de résidus d'insecticides dans divers légumes frais, blanchis et stérilisés (*) (**)

par

Simone DORMAL, P. H. MARTENS
Centre de Recherches de Phytopharmacie,
Institut Agronomique. Gembloux

et

M. DECLEIRE, L. DE FAESTRAETS †
Institut National pour l'Amélioration des Conserve de Légumes.
Wesembeek-Ophem

L'objet du présent travail est la relation d'une étude expérimentale portant sur la détermination des valeurs et de la durée de persistance des résidus de divers insecticides sur *épinards*, *pois* et *haricots-princesses* traités et sur le taux de destruction subi par ces résidus dans les mêmes légumes, après blanchiment et après stérilisation.

Les insecticides suivants furent appliqués :

phosdrin (+) (2-carbométhoxy-1-méthylvinyl diméthyl phosphate)
dipterox (+) (0,0-diméthyl-1-hydroxy-2,2,2-trichloroéthyl phosphonate)
parathion (0,0-diéthyl-0-paranitrophényl thiophosphate)
isochlorthion (+) (0,0-diméthyl-0-4-chloro-3-nitrophényl thiophosphate)
DDT (dichlorodiphényltrichloréthane)

Les traitements furent effectués par pulvérisation, à l'aide d'un pulvérisateur à pression préalable, les produits étant utilisés sous forme d'*émulsions*, à partir de formulations commerciales du type « concentrés émulsionnables », aux doses et dans les conditions normales d'application reprises plus loin.

(*) Travail subsidié par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture, I.R.S.I.A.

(**) Déposé à la rédaction, le 7 mai 1959.

(†) Nom déposé.

Les échantillons de légumes furent prélevés à des délais espacés de 1 à 4 jours sur des périodes de 10 à 14 jours, le premier prélèvement étant effectué 1 heure après le traitement ; ils furent soumis sans délai respectivement aux opérations d'extractions des résidus pour les déterminations portant sur légumes frais et aux opérations de blanchiment et de stérilisation suivies d'extractions pour celles portant sur légumes blanchis ou stérilisés.

Toutes les analyses furent pratiquées en double sur des échantillons moyens représentatifs de chaque traitement et des échantillons témoins non traités.

Les différentes phases du travail et les résultats obtenus sont décrits dans les chapitres qui suivent.

Conditions expérimentales des traitements

Chaque produit fit l'objet d'un seul traitement par parcelle.

Chaque parcelle fut délimitée à une superficie de 30 m² pour les cultures d'épinards et de haricots, de 100 m² pour les cultures de pois.

Les traitements furent effectués respectivement :

le 29-5-58 à Louvain, sur épinards (variété Nobel)

le 30-6-58 à Tourinnes la Grosse, sur pois (variété Aurora)

le 29-7-58 à Vossem, sur haricots-princesses (variété Hâtif du Limbourg).

Les produits furent utilisés aux doses et concentrations décrites dans le tableau 1.

TABLEAU 1. — Conditions d'utilisation des produits

Formulation (conc. émuls.)	Conc. % de la formulation dans l'émulsion			Dose d'utilisation en L/are (pulvérisation)		
	épinards	pois	haricots	épinards	pois	haricots
phosdrin 25% m.a.	0.06	0.15	0.10	7.6	6.0	7.0
dipterex 50% m.a.	0.12	0.25	0.20	8.5	6.1	6.5
parathion 50% m.a.	0.06	0.12	0.10	8.4	6.7	6.1
isochlorthion 55% m.a.	0.12	0.25	0.20	8.5	6.9	7.0
DDT 25% m.a.	0.31	0.57	0.80	8.4	6.2	6.2

Les émulsions furent appliquées à raison de 800 L/Ha à l'aide d'un pulvérisateur travaillant à la pression de 2.5 Kg/cm², muni d'une rampe de 2 m. équipée de 4 têtes de jet éventail distantes du sol de 60 cm. et assurant une répartition uniforme du produit. Des cadres maintenant des toiles de jute furent fixées aux extrémités de la rampe en vue d'empêcher la dispersion des produits respectifs en dehors des parcelles leur réservées.

Conditions expérimentales des prélèvements

OBSERVATIONS CLIMATIQUES

Les conditions climatiques furent relevées quotidiennement au cours des périodes de prélèvement ; leurs valeurs globales sont données dans le tableau 2.

TABLEAU 2. — Conditions climatiques pendant les périodes de prélèvements

Périodes de prélèvements	Variation des t° moyennes maxima	Variation des t° moyennes minima	Hauteur totale des précipit. en mm.	Nombre total heures d'insolation
<i>Épinards</i> 29-5-58 au 12-6-58	20°0 à 22°9	4°6 à 9°6	9.7	—
<i>Pois</i> 30-6-58 au 10-7-58	22°5 à 24°2	11°6 à 13°7	19.7	66.05
<i>Haricots</i> 29-7-58 au 11-8-58	21°8 à 25°6	12°3 à 14°6	18.4	61.50

TECHNIQUE DES PRÉLEVEMENTS

Épinards et haricots.

Chaque prélèvement comprit, pour chaque parcelle traitée et témoin, 4 prises d'échantillons portant chacune sur la production d'une superficie de 1 m².

Pois.

Chaque prélèvement comprit, pour chaque parcelle traitée et témoin, 5 prises d'échantillons portant chacune sur la production d'une superficie de 2 m².

Les prises de même nature furent mélangées sur place et divisées en 2 parts : l'une étant destinée à l'analyse sur légumes frais, l'autre aux opérations d'étuvage et de stérilisation suivies d'analyses.

Le premier prélèvement fut effectué, dans tous les cas, 1 heure après le traitement, les suivants aux délais donnés dans le tableau 3.

6 prélèvements furent pratiqués sur chaque parcelle d'épinards et de haricots, 5 sur chaque parcelle de pois.

TABLEAU 3. — Caractéristiques des échantillons au cours des périodes de prélèvements

Délais en jours entre traitement et prélèvement	0	1	3	4	6	7	9	10	11	13	14
<i>Épinards</i>											
Poids moyen des feuilles en gr par m ² de superficie cultivée	2338	2501		2445		3711 (*)			3250		3972
<i>Pois</i>											
Poids moyen des graines écosées en gr par Kg. de gousses	344	347	389			429		483			
<i>Haricots</i>											
Nombre moyen de gousses par Kg.	252	222	216		204		180			166	

(*) Les échantillons étaient recouverts d'une forte rosée.

Les légumes subirent au cours de ces périodes une croissance rapide qui fut suivie lors de chaque prélèvement soit par la détermination du poids moyen de la production d'une superficie cultivée donnée (cas des épinards) ou de la production d'un élément de référence déterminé (cas des pois), soit par la détermination du nombre moyen d'unités par unité de poids (cas des haricots).

Les valeurs en sont colligées dans le tableau 3.

Opérations de conserverie

Immédiatement après leur prélèvement, les échantillons destinés à la conserverie furent soumis aux opérations de blanchiment et de stérilisation selon les schémas suivants :

Épinards.

- a) Lavage standard dans l'eau de ville suivi d'un bref égouttage,
- b) Blanchiment : chauffage pendant 5 minutes à 100°C (8 Kg. d'épinards dans 36 L. d'eau).
- c) Broyage à chaud.
- d) Mise immédiate en boîtes 1/2 standard et sertissage.
- e) Un lot de ces boîtes est refroidi et stocké en frigo à 0°C ; il constitue l'échantillon blanchi. L'autre est stérilisé à 115°C pendant 100 minutes (barème industriel pour la stérilisation) ; il constitue l'échantillon stérilisé.

Pois.

Après écossage mécanique :

- a) Lavage standard.
- b) Blanchiment de 4 minutes à 100°C.
- c) Refroidissement de 2 minutes suivi d'égouttage.
- d) Mise immédiate en boîtes 1/2 standard (adjonction d'une solution à 2% de sel + 3% de sucre dans l'eau de ville).
- e) Un lot de ces boîtes est refroidi et stocké en frigo à 0°C ; il constitue l'échantillon blanchi. L'autre est autoclavé à 121°C pendant 16 minutes (barème industriel) et refroidi ; il constitue l'échantillon stérilisé.

Haricots-Princesses.

- a) Étuvage.
- b) Lavage pendant 1 minute dans 4 fois leur poids d'eau de ville.
- c) Blanchiment de 3 minutes à 100°C dans 2 fois leur poids d'eau de ville.
- d) Refroidissement de 2 minutes dans 4 fois leur poids d'eau de ville.

e) Mise en boîtes 1/2 standard (adjonction d'une solution à 2 % de sel dans l'eau de ville).

f) Préchauffage à 90°C et sertissage sans espace vide.

g) Un lot de ces boîtes est refroidi et stocké en frigo à 0°C ; il constitue l'échantillon blanchi. L'autre est stérilisé à 121° C pendant 12 minutes (barème industriel) et refroidi ; il constitue l'échantillon stérilisé.

Opérations préliminaires aux analyses

Exception faite pour les légumes traités au DDT, tous les échantillons furent soumis le jour même ou, au plus tard, le lendemain de leur récolte à l'homogénéisation et à l'extraction en vue du dosage des résidus.

Les légumes frais subirent un hachage sommaire dans le cas des épinards et des haricots, et l'écossage dans le cas des pois. La masse fut ensuite mélangée suivant la méthode des quarts. Deux prises moyennes d'un poids déterminé en fonction des besoins de la méthode d'analyse furent prélevées sur chaque lot traité et cinq sur chaque lot non traité (témoins).

Les prises furent hachées finement à l'aide d'un turmix ou d'un broyeur, déshydratées, si nécessaire, et extraites à l'aide d'un solvant adéquat par malaxage et agitation pendant un temps déterminé.

Les légumes blanchis et stérilisés furent homogénéisés au turmix, déshydratés et extraits ensuite par des procédés similaires.

Les extraits furent filtrés, éventuellement décolorés, et évaporés à sec lorsque la méthode d'analyse le requérait.

Méthodes d'analyses

Les résidus de *phosdrin* et de *dipterex* furent dosés par une modification de la méthode de HENSEL, HEWETT, SHEETS et SCOTT (1) basée sur la mesure du pouvoir inhibiteur des pseudo-cholinestérases qu'exercent ces produits « in-vitro ».

Les résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* furent dosés par la méthode spectrophotométrique de AVERELL et NORRIS (2), basée sur la propriété que possèdent les radicaux aminophényle de former un colorant diazoté par coouplation avec la N-naphthyléthylènediamine.

Les résidus de *DDT* furent étudiés par la méthode spectrophotométrique de SCHECHTER, SOLOWAY, HAYES et HALLER (3), basée sur la propriété que possède le radical diphenyléthane de réagir après nitration avec le méthylate de soude pour former un colorant bleu.

Résultats d'analyses

Les résultats d'analyses sont colligés dans les tableaux 4, 5, 6, 7 et 8. Chaque valeur représente la moyenne des résultats de deux déterminations effectuées en présence d'un témoin non traité. L'abréviation *ind.* (pour indécélable) indique que le résidu est inférieur à la limite de sensibilité de la méthode d'analyse.

Les valeurs indiquées pour les résidus de *phosdrin* expriment la quantité totale d'isomères *cis* et *trans* du 2-carbométhoxy-1-méthyl-vinyl diméthyl phosphate et de leurs homologues inclus dans le produit technique sous la dénomination de « related compounds » et exerçant « in-vitro » un pouvoir inhibiteur des pseudo-cholinestérases. Les métabolites de ces composés dans les tissus végétaux étant des produits d'hydrolyse enzymatique dénués d'activité anticholinestérasique (4) ne sont pas dosés.

TABLEAU 4. — Résidus de *phosdrin* dans les épinards, les pois et les haricots

Délais en jours entre traitement et prélèvements	Résidus de <i>phosdrin</i> en p. p. m.								
	Épinards			Pois écosés			Haricots-princesses		
	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés
0	1.32	0.03	0.01	ind.	ind.	ind.	0.86	0.02	ind.
1	0.18	0.01	ind.	0.05	ind.	ind.	0.14	0.1	ind.
3	—	—	—	0.01	ind.	ind.	0.01	ind.	ind.
4	0.01	0.01	ind.	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	ind.	ind.
7	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	—	—	—

TABLEAU 5. — Résidus de *dipterox* dans les épinards, les pois et les haricots

Délais en jours entre traitement et prélèvements	Résidus de <i>dipterox</i> en p.p.m.								
	Épinards			Pois écosés			Haricots-princesses		
	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés
0	2.00	0.03	0.01	ind.	ind.	ind.	1.22	0.06	0.05
1	0.83	0.02	ind.	0.21	ind.	ind.	0.27	0.05	ind.
3	—	—	—	0.10	ind.	ind.	0.05	0.05	ind.
4	0,20	0.02	ind.	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	ind.	ind.	ind.
7	0.08	0.01	ind.	ind.	ind.	ind.	—	—	—
11	0.01	ind.	ind.	—	—	—	—	—	—
14	ind.	—	—	—	—	—	—	—	—

ind. = indécélable.

TABLEAU 6. — Résidus de parathion dans les épinards, les pois et les haricots

Délais en jours entre traitement et prélèvements	Résidus de <i>parathion</i> en p.p.m.								
	Épinards			Pois écosés			Haricots-princesses		
	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés
0	6.47	3.06	0.57	—	—	—	1.27	0.24	0.18
1	2.85	1.00	0.27	ind.	ind.	ind.	0.65	0.24	0.19
3	—	—	—	ind.	ind.	ind.	0.21	0.16	0.14
4	0.90	0.54	0.25	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	0.08	ind.	ind.
7	0.34	0.06	0.01	ind.	ind.	ind.	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	0.01	ind.	ind.
10	—	—	—	ind.	ind.	ind.	—	—	—
11	0.08	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	ind.	—	—
14	0.05	ind.	ind.	—	—	—	—	—	—

TABLEAU 7. — Résidus d'isochlorthion dans les épinards, les pois et les haricots

Délais en jours entre traitement et prélèvements	Résidus d' <i>isochlorthion</i> en p.p.m.								
	Épinards			Pois écosés			Haricots-princesses		
	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés
0	8.03	3.37	0.15	—	—	—	2.26	0.36	0.21
1	4.14	2.16	0.16	ind.	ind.	ind.	1.29	0.28	0.21
3	—	—	—	ind.	ind.	ind.	0.38	0.22	0.18
4	0.98	0.47	0.12	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	0.10	0.10	0.10
7	0.54	0.13	0.01	ind.	ind.	ind.	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	0.02	ind.	ind.
10	—	—	—	ind.	ind.	ind.	—	—	—
11	0.24	0.09	0.01	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	ind.	—	—
14	0.09	ind.	ind.	—	—	—	—	—	—

TABLEAU 8. Résidus de DDT dans les pois et les haricots

Délais en jours entre traitement et prélèvements	Résidus de <i>DDT</i> en p. p.m.					
	Pois écosés			Haricots-princesses		
	frais	blanchis	stérilisés	frais	blanchis	stérilisés
0	—	—	—	1.45	1.00	0.57
1	ind.	ind.	ind.	1.13	0.65	0.51
3	—	ind.	ind.	1.09	0.70	0.47
6	—	—	—	0.90	—	0.45
7	—	ind.	ind.	—	—	—
9	—	—	—	0.61	0.7	0.50
10	ind.	ind.	ind.	—	—	—
13	—	—	—	0.51	0.4	0.3
14	—	—	—	—	—	—

ind. = indécélable

Les valeurs des résidus de *dipterox* expriment la quantité totale d'0,0-diméthyl-1-hydroxy-2,2,2-trichloroéthyl phosphonate et de ses produits de métabolisation exerçant « in-vitro » un 'pouvoir anticholinestérasique, parmi lesquels le 0,0-diméthyl-2,2-dichlorovinyl phosphate (DDVP) est plausible.

Les valeurs des résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* expriment la quantité totale des composés initiaux inclus dans le produit technique et de leurs métabolites possédant les radicaux nitro- et aminophenyl tels quels pour le *parathion* ou substitués par un atome de chlore pour l'*isochlorthion*.

Enfin, les valeurs indiquées pour les résidus de DDT expriment la quantité totale de p, p'-DDT, de ses homologues inclus dans le produit technique et de leurs produits de métabolisation caractérisés par le radical diphenyl-éthane.

Discussion

Quelle que soit la nature de l'insecticide étudié, les résidus les plus abondants se retrouvent sur les *épinards*. Cette constatation s'explique aisément par le fait que le feuillage est touché directement par le traitement et qu'il présente un maximum de surface par unité de poids.

Les teneurs en résidus des gousses de *haricots-princesses* sont nettement plus faibles. Elles sont, en effet, protégées par le feuillage qui reçoit la plus grande part du traitement, et présentent, en outre, une surface relativement réduite par rapport à leur poids.

Les *pois écosés* furent trouvés exempts de résidus dans le cas des traitements au *parathion* à l'*isochlorthion* et au DDT. Seuls, parmi les produits étudiés, le *phosdrin* et le *dipterox* possèdent un pouvoir de pénétration suffisant pour passer de la gousse dans la graine ; leurs résidus ne furent néanmoins décelés qu'en doses extrêmement faibles et qu'à partir du deuxième prélèvement effectué 24 heures après le traitement.

Parmi les cinq insecticides étudiés, le *phosdrin* et le *dipterox* s'avèrent être les moins persistants. La disparition de leurs résidus sur les trois végétaux traités est assumée endéans 4 à 6 jours pour le *phosdrin* et 6 à 12 jours pour le *dipterox*.

La durée de persistance du *parathion* et de l'*isochlorthion* se situe entre 12 et 20 jours, celle du DDT atteint de nombreuses semaines.

Ces résultats ne sont valables que dans les limites de conditions d'exécution analogues à celles que nous avons décrites. Ils ne sont extrapolables, ni à d'autres types de traitements, ni à d'autres types de formulations, ni encore à d'autres substrats végétaux.

Le blanchiment des légumes frais traités entraîne une destruction très poussée de leurs résidus de *phosdrin* et de *dipterox*, une destruction de 40

à 85 % de leurs résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* et de 20 à 40 % de leurs résidus de *DDT*.

La stérilisation des légumes frais traités assume une destruction pratiquement complète de leurs résidus de *phosdrin* et de *dipterex*, une destruction de 70 à 95 % de leurs résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* et de 40 à 60 % de leurs résidus de *DDT*.

Conclusions

Nous pouvons donc conclure que dans les conditions de nos traitements expérimentaux, les résidus des différents insecticides étudiés sont nuls ou négligeables dans les légumes frais si l'on respecte l'intervalle requis par la réglementation belge entre la date du dernier traitement et celle de la récolte.

A fortiori, les procédés d'appertisation des légumes récoltés dans ces conditions ne peuvent que renforcer les facteurs de sécurité puisqu'ils entraînent dans tous les cas étudiés une réduction du taux en résidus.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance envers MM. les Drs. F. A. Gunther, H. Tietz et H. Frehse pour les renseignements qu'ils leur ont très aimablement fournis.

Ils adressent leurs remerciements à M^{me} M-L. Lallemand ainsi qu'à MM. Léonard, Lavalleye, Devos, Bolly, Lamort, Dewalque et Mouchette qui leur ont apporté leur précieuse collaboration tant au cours des analyses que pendant les traitements insecticides et les opérations de mise en conserve.

Enfin, ils remercient M. le Professeur Lecrenier pour l'amabilité avec laquelle il a mis ses frigos à leur disposition.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) HENSEL J., HEWITT A. E., SHEETS U. M. and SCOTT R. C. ; *Techn. Bull. Chemagro Corp.* (1954).
- (2) AVERELL P. R. and NORRIS M. V. ; *Anal. Chem.*, 20, 753-6 (1948).
- (3) SCHECHTER M. S., SOLOWAY S. B., HAYES R. A. and HALLER H. L. ; *Ind. Eng. Chem. Anal. édition.*, II, 704-9 (1945).
- (4) CASIDA J. E., GATTERDAM P. E., GETZIN L. W. and CHAPMAN R. K. ; *J. Agric. Food Chem.*, 4, 3, 236-43 (1956).

RÉSUMÉ

Les auteurs déterminèrent expérimentalement sur épinards, pois et haricots-princesses les valeurs et les durées de persistance des résidus de *phosdrin*, *dipterex*, *parathion*, *isochlorthion* et *DDT* pulvérisés sous forme d'émulsions à partir de formulations commerciales du type « concentrés émulsionnables ».

Ils étudièrent, en outre, le taux de destruction subi par ces résidus dans les mêmes légumes soumis aux opérations de blanchiment et de stérilisation.

Les résultats obtenus mirent en évidence que :

- a) les durées de persistance des résidus s'avèrent très courtes pour le *phosdrin* et le *dipterex*, légèrement plus longues pour le *parathion* et l'*isochlorthion*, longues pour le *DDT* ;
- b) le *blanchiment* des légumes traités entraîne une destruction très poussée des résidus de *phosdrin* et de *dipterex*, une destruction de l'ordre de 40 à 85 % des résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* et de 20 à 40 % des résidus de *DDT* ;
- c) la *stérilisation* des légumes traités entraîne une destruction pratiquement complète des résidus de *phosdrin* et de *dipterex*, une destruction de l'ordre de 70 à 95 % des résidus de *parathion* et d'*isochlorthion* et de 40 à 60 % des résidus de *DDT*.

SUMMARY

The authors have determined the degree and time of persistence of *phosdrin*, *dipterex*, *parathion*, *isochlorthion* and *DDT* residues in *spinach*, *peas* and *green beans* (variety « *princesse* ») after spraying with commercial emulsifiable concentrates.

Further, they examined the rate of elimination of the residues in the same vegetables through the blanching and canning processes.

They came to the following conclusions :

- a) the time of persistence of residues is very short with *phosdrin* and *dipterex*, slightly longer with *parathion* and *isochlorthion*, long with *DDT* ;
- b) the blanching of treated vegetables results in a very deeply marked elimination of *phosdrin* and *dipterex* residues ; elimination of 40 to 85 per cent of *parathion* and *isochlorthion* residues, and 20 to 40 per cent of *DDT* residues ;
- c) sterilizing treated vegetables results in complete elimination of *phosdrin* and *dipterex* residues ; elimination of 70 to 95 per cent of *parathion* and *isochlorthion* residues, and 40 to 60 per cent of *DDT* residues.

Le prix des porcs de boucherie en Belgique, de 1948 à 1957 (*)

par A. LEDENT

Il est connu que les phénomènes économiques présentent des variations d'une certaine ampleur, que l'on classe, généralement, de cette façon :

la tendance de longue durée,

le mouvement saisonnier,

le mouvement cyclique.

A ces trois mouvements élémentaires, s'ajoute un élément résiduel constitué de variations accidentelles ou irrégulières proprement dites (relevés de prix plus précis ; circonstances particulières modifiant l'offre ou la demande : guerre, conflits sociaux, conditions climatiques anormales, etc.).

Ces effets sur les prix s'enchevêtrent et se combinent. Cependant, on a imaginé divers procédés d'isoler chacun d'eux. Observons immédiatement que cette dissociation représente un travail d'abstraction et qu'il n'est pas, sans doute, dans la réalité, de mouvements conformes à ceux que l'on s'efforce de mettre en évidence.

* * *

Après avoir souligné l'importance économique et sociale de la spéculation « engraissement porcin », en Belgique, importance qui démontre l'utilité de sa rentabilité, on tentera de procéder à une analyse du prix récent, à la production des porcs livrés à la boucherie.

* * *

Importance économique et sociale de la spéculation

Au 15 mai 1957, notre cheptel comportait 1.365.698 porcs, dont 603.942 de 8 semaines à moins de 6 mois et 166.196 de 6 mois au moins à l'engrais.

(*) Déposé à la rédaction, le 9 avril 1959.

Dans notre pays, la spéculation porcine intéresse particulièrement les exploitations agricoles mixtes et celles des régions herbagères, où l'engraissement porcin constitue un complément de la spéculation laitière.

Le plus grand nombre de porcs se trouve concentré dans les entreprises de faible ou moyenne étendue (96 p. c. dans celles de 1 à moins de 30 ha., lors du recensement général de l'agriculture de 1950).

Quant à la densité des porcs, elle est la plus forte dans les petites exploitations, qui, généralement, éprouvent la nécessité d'utiliser au mieux leur main-d'œuvre disponible et d'accélérer la circulation de leurs capitaux ; elle atteignait en 1950 :

dans les exploitations de 1 à moins de 3 ha.	92 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 3 à moins de 5 ha.	96 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 5 à moins de 10 ha.	92 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 10 à moins de 20 ha.	71 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 20 à moins de 30 ha.	55 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 30 à moins de 50 ha.	40 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 50 à moins de 100 ha.	28 têtes par 100 ha.
dans les exploitations de 100 ha. et plus	19 têtes par 100 ha.

On n'insistera pas ici sur la capacité de transformation d'aliments très variés, parfois inutilisables pour d'autres usages, en produits de valeur, que possède le porc.

La valeur de la production indigène de viande porcine a atteint au cours des années 1954-1957, un montant annuel moyen de 4.847.250.000 frs (soit 12,2 p. c. de la valeur de notre production agricole finale).

Depuis 1950, notre production de viande porcine surpasse les besoins de notre population et le solde exportateur annuel de l'Union économique belgo-luxembourgeoise a parfois dépassé 10.000 tonnes.

En 1956, nous avons exporté pour 88.391.000 frs de viande porcine, 8.035.000 frs de jambon préparé, 164.692.000 frs de lard. En 1957, les montants correspondants ont été respectivement de 26.877.000 frs, 8.335.000 frs et 100.066.000 frs.

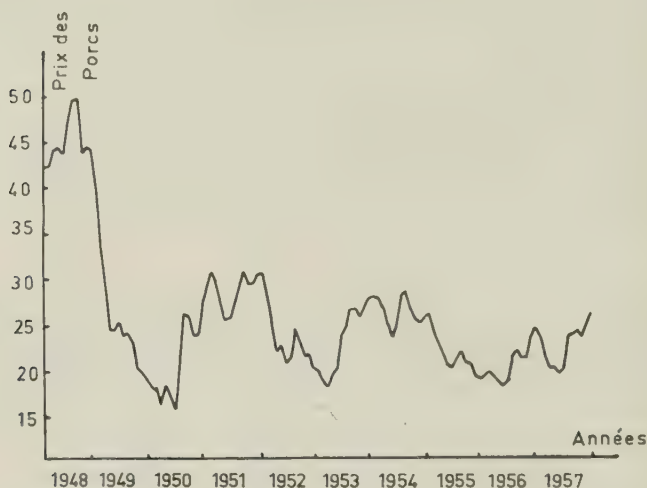
*
* *

Le prix récent des porcs gras

En Belgique, au lendemain de la dernière guerre mondiale, le prix officiel des porcs gras est resté en vigueur jusqu'en février 1948.

Dans la suite, on a enregistré l'évolution extériorisée par le diagramme n° 1 établi à partir des mercuriales publiées par le Ministère de l'Agriculture.

GRAPHIQUE 1



Évolution du prix des porcs gras (Fr. par kg.).

A. — LE MOUVEMENT DE LONGUE DURÉE

On s'attardera peu ici sur la tendance fondamentale du prix des porcs, car la période envisagée est trop courte pour que l'on puisse dégager son évolution normale.

L'index des prix de gros peut être considéré comme un indicateur raisonnable des changements du niveau général des prix.

Le graphique n° 2 (p. 151) montre l'évolution des indices des prix de gros relatifs à un ensemble de produits agricoles et industriels (I), aux produits agricoles du règne animal (II) et à ceux du règne végétal (III).

Bien que l'on se trouve en présence d'un stade de distribution différent de celui envisagé ci-dessus, on y a superposé la représentation des variations de l'indice du prix des porcs à la production (IV).

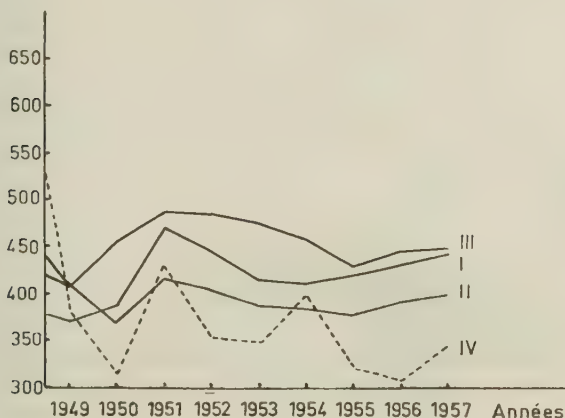
Dans certaines conditions, une hausse ou une baisse générale des prix correspond à leur alignement sur les mouvements quantitatifs de la monnaie. Normalement, ces derniers ont comme corollaire l'extension ou le rétrécissement du crédit, dont on connaît l'incidence sur la tenue des affaires, l'émulation entre les producteurs et, par conséquent, les prix. Ils agissent naturellement sur le niveau des revenus, auxquels se trouve rattaché celui de la consommation.

L'augmentation du nombre des bouches à nourrir joue dans le sens de la hausse des prix de certains produits agricoles. Le progrès technique déter-

mine un accroissement des rendements unitaires et parfois des possibilités de produire ; il agit en sens opposé.

Les substitutions de certains aliments à d'autres (consommation de plus de produits nobles : viande, œufs, lait, dérivés laitiers, fruits, légumes et de moins de pommes de terre d'abord, de pain ensuite), dues à une augmentation du revenu national et, plus encore, à une modification de sa répartition, exercent une influence séculaire sur les prix des produits agricoles.

GRAPHIQUE 2



Évolution de l'index des prix de gros : produits agricoles et industriels (I) ; produits agricoles du règne animal (II) ; produits agricoles du règne végétal (III) ; évolution de l'index du prix des porcs à la production (IV). (1936-1938 = 100).

Si l'on examine le prix des porcs, sa tendance, outre qu'elle se trouve liée à l'évolution économique générale, pourrait actuellement, semble-t-il, être assujettie, en notre pays, au caractère de substitution qu'acquiert vis-à-vis de la viande porcine, celle de bovidés, la volaille, etc..

B. — LES VARIATIONS SAISONNIÈRES

Les variations saisonnières tendent à se reproduire d'une manière régulière chaque année, sous l'influence de phénomènes périodiques se renouvelant dans un délai égal ou inférieur à une année.

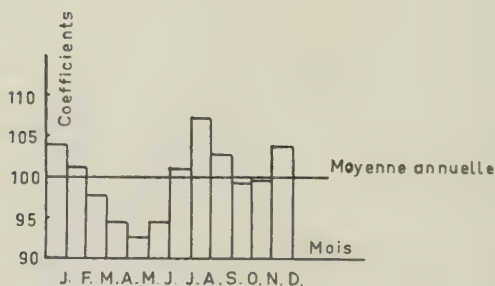
Les coefficients de variations saisonnières du prix des porcs calculés selon la méthode des chaînes de rapports de W. PERSONS, en se basant sur les

prix mensuels de la période 1949-1956, sont les suivants (graphique n° 3)

janvier	104,4
février	101,3
mars	97,8
avril	94,6
mai	92,8
juin	94,8
juillet	101,3
août	107,3
septembre	102,7
octobre	99,3
novembre	99,9
décembre	103,8

moyenne mensuelle 100,0

GRAPHIQUE 3



Coefficients de variations saisonnières.

Il apparaît que le prix à la production des pores de boucherie atteint son niveau le plus élevé durant le troisième trimestre. En octobre et novembre, il se détériore mais remonte à la fin et au début de l'année. C'est en avril et mai que se manifeste le prix le plus bas.

Il est cependant certain que les mouvements saisonniers ne se répètent pas, chaque année, avec régularité et constance. Ils sont soumis au volume de l'offre à un moment donné et peuvent aussi être altérés par d'autres causes (variations cycliques et accidentelles). En effet, par le procédé des chaînes de rapports, le mouvement cyclique n'est éliminé que si l'analyse porte sur un nombre d'années englobant un ou plusieurs cycles complets (ce n'est pas le cas ici) ; par contre, même s'il n'en est pas ainsi, le mouvement de longue durée se trouve éliminé d'une manière valable.

Causes des variations saisonnières.

Il y a, chaque année, deux époques au cours desquelles les naissances de porcelets sont les plus nombreuses : l'une vers mars-avril, l'autre vers

septembre. Comme les porcs sont livrés à l'abattoir vers 6-7 mois, l'offre en devient particulièrement fournie vers septembre-octobre (première nichée de l'année) et à partir de mars (seconde nichée de l'année) ⁽¹⁾.

D'autres influences encore que celle-ci agissent d'ailleurs en ce domaine.

Au début de l'été, apparaît une certaine désaffection du public vis-à-vis de la viande porcine, et, à la même époque, se manifeste le désir éventuel de l'engraisseur de liquider ses animaux par suite de l'épuisement de ses provisions alimentaires.

Durant la moisson, la réaction de l'agriculteur n'est plus la même, et, d'ailleurs, les travaux en cours ne lui laissent guère le temps de songer à vendre des animaux.

Le prix des porcs de boucherie est influencé, d'une part, par les prix des produits gras (lard, saindoux) et, d'autre part, par ceux de la viande (jambon, carrés et épaules). Ces prix subissent également des variations saisonnières telles que la baisse fréquente des prix du lard et du saindoux en avril ou mai, la hausse du prix du jambon vers le même moment, etc...

Les abattages de porcs à domicile, qui fournissent environ 28.000 t. de viande par année, et qui sont plus fréquents d'octobre à mars, réduisent l'offre des porcs sur le marché et représenteraient un facteur d'augmentation du prix. Cette action ne se manifesterait, toutefois, que si la demande de viande porcine ne se trouve pas réduite parallèlement.

Soulignons encore qu'aux abords de la Toussaint, certains producteurs, surtout de Wallonie, se débarrassent de porcs afin de rendre leurs étables disponibles en vue de la rentrée des bovidés.

Enfin, la concurrence de la viande bovine notamment varie selon les époques de l'année.

C. — LES MOUVEMENTS CYCLIQUES

On sait que les mouvements cycliques des prix consistent en des variations sinusoïdales de ceux-ci qui montent jusqu'à un sommet, déclinent jusqu'à un point minimum, puis remontent jusqu'à un nouveau sommet, à des intervalles de temps plus ou moins réguliers.

Dans leur étude : « Les prix du porc. Leurs caractères cycliques », DIVE ET MARCQ ⁽²⁾ écrivent :

(1) Au cours de la période 1950-1956, notre consommation globale de viande porcine a été en moyenne de 165.104 tonnes par année, soit :

- 39.642 t. (24, - %) pour le premier trimestre ;
- 41.987 t. (25,4 %) pour le deuxième trimestre ;
- 39.814 t. (24,1 %) pour le troisième trimestre ;
- 43.661 t. (26,5 %) pour le quatrième trimestre.

(2) *Annales de Gembloux*, Juin 1939, pp. 257-270. Duculot, Gembloux.

« Dès 1927, les Américains et les Allemands notamment reconnaissaient un caractère aux fluctuations de la valeur des produits porcins. Ils démontraient l'existence d'un mouvement alternatif portant successivement les prix à des maxima et des minima se situant à des intervalles qui varient entre 18 et 24 mois, les tendances à la hausse et à la baisse se renversaient par conséquent après des périodes de cette durée ».

Actuellement, le cycle du prix des porcs — appelé aussi cycle de Hanau — est un des plus familiers.

L'examen de la courbe du prix récent des porcs montre un maximum en septembre 1948, une baisse dont le fond est atteint en juin 1950, puis une hausse dont le point culminant se situe en janvier 1952 ; ce premier cycle est suivi d'un autre passant par un minimum en mars 1953 et se prolongeant jusqu'en août 1954 ; quant au cycle suivant, son minimum est enregistré en mai 1956. Postérieurement, le mouvement n'apparaît plus avec netteté.

Le prix des porcs gras, corrigé en recourant aux coefficients de variations saisonnières, montre des mouvements inter-annuels quasi semblables à ceux décrits ci-dessus. Le premier cycle finit en janvier 1952 ; celui qui lui succède en juillet 1954, la fin de la phase de baisse du troisième cycle est enregistrée en avril 1956.

Cycle I (1).

	1 ^{er} MAXIMUM	MINIMUM	2 ^d MAXIMUM
PRIX BRUT.			
Mois du revirement	septembre 1948	juin 1950	janvier 1952
Frs par kg. sur pied	49,40	15,94	31,20
Indices par rapport au prix minimum	310	100	196
Indices par rapport au prix moyen mensuel enregistré durant le cycle (27,22 Fr/Kg.)	182	59	115
Standard déviation		7,83 Fr	

PRIX CORRIGÉ.

Mois du revirement	septembre 1948	mars 1950	janvier 1952
Frs par kg. sur pied	48,10	16,72	29,89
Indices par rapport au prix minimum	288	100	179
Indices par rapport au prix moyen mensuel enregistré durant le cycle (27,10 Fr)	177	62	100
Standard déviation		7,53 Fr	

(1) La seconde phase du cycle I a, peut-être, débuté prématurément (guerre de Corée) ; elle s'est vraisemblablement prolongée accidentellement (infra : variations accidentelles).

	1 ^{er} MAXIMUM	MINIMUM	2 ^d MAXIMUM
Cycle II.			
PRIX BRUT.			
Mois du revirement	janvier 1952	mars 1953	août 1954
Frs par kg. sur pied	31,20	18,20	28,60
Indices par rapport au prix minimum	171	100	157
Indices par rapport au prix moyen mensuel enregistré durant le cycle (24,28 Fr/Kg)	129	75	118
Standard déviation		3,31 Fr	

PRIX CORRIGÉ.			
Mois du revirement	janvier 1952	mars 1953	juillet 1954
Frs par kg. sur pied	29,89	18,61	28,06
Indices par rapport au prix minimum	161	100	151
Indices par rapport au prix moyen mensuel enregistré durant le cycle (24,24 Fr/Kg)	123	77	116
Standard déviation		2,95 Fr	

Cycle III.

PRIX BRUT.		
Mois du revirement	août 1954	mai 1956
Frs par kg. sur pied	28,60	18,40
Indices par rapport au prix minimum	155	100

PRIX CORRIGÉ.		
Mois du revirement	juillet 1954	avril 1956
Frs par kg. sur pied	28,06	19,66
Indices par rapport au prix minimum	143	100

Durée des cycles.

La capacité de production de l'espèce porcine est évidemment variable et dépend des possibilités de reproduction et de la durée de l'engraissement des animaux.

Le poids des animaux livrés à la boucherie, entre autres, paraît influencer la durée du cycle.

En Hollande ⁽¹⁾, on a enregistré cinq cycles du prix des porcs entre 1923 et 1939 (cinq cycles également, en Belgique, de 1922 à 1938) ; les deux premiers, alors que l'on y produisait surtout des porcs gras, ont persisté 3-4 ans ; les trois autres, alors que les engraisseurs s'étaient principalement orientés vers la production de porcs à bacon, 2-21/2 ans.

(1) GREIDANUS, *Wanneer maakt de boer de beste prijs?*, pp. 56 et 57. Meppel, 1955.

Après la dernière guerre mondiale, on a noté les durées suivantes des cycles du prix des porcs, en Belgique (mois) :

		PRIX BRUT	PRIX CORRIGÉ
CYCLE I.	baisse	21	18
	hausse	19	22
		40	40
CYCLE II.	baisse	14	14
	hausse	17	16
		31	30
CYCLE III.	baisse	21	21

Amplitude des mouvements cycliques.

Il est certain que le prix atteint, en 1948, particulièrement en septembre, est anormalement élevé ; au cours de cette année, l'influence d'une offre encore réduite s'est manifestée.

On peut aussi remarquer que les variations cycliques ont été en s'atténuant.

L'amplitude des oscillations cycliques du prix varie avec l'évolution de l'offre et de la demande.

D'une part, l'offre des porcs de boucherie ne peut guère être différée : en effet,

a) chez le porc à l'engrais, le nombre d'unités fourragères par kg. de gain de poids vif augmente avec son poids (1) ; or, le facteur « coût de l'alimentation » est celui qui grève le plus lourdement l'engraissement porcin ;

b) en prenant du poids, le porc produit une proportion croissante de matières grasses (lard, saindoux), qui, ainsi que la viande trop grasse, sont actuellement peu prisées de nos consommateurs ; au-delà d'un certain poids (voisin de 100 kg), son prix de vente se déprécie.

Afin de réaliser le revenu net le plus élevé possible sur chaque porc, l'engraisseur doit liquider ses animaux au plus tard dès que le prix de réalisation de leur production marginale est égal au coût de celle-ci. Ce revenu net le plus élevé ne correspond pas nécessairement au gain maximum que peut laisser la spéculation (notamment si le prix des gorettes est

(1) En se basant sur les données publiées par Nils HANSSON, H. WATERSCHOOT a déterminé la relation suivante entre le poids du porc (x) et le nombre d'unités fourragères nécessaire par kg de gain de poids vif (y)

$$\log. y = 0,09 + 0,3725 \log. x.$$

(H. WATERSCHOOT. *Un modèle économique de l'usage de l'exploitation porcine*. Station d'économie rurale de l'État, Gand, 1955).

bas) et il faut plutôt remplacer le sujet gras par un porc plus jeune dès qu'il présente les qualités voulues pour être payé au prix le plus avantageux.

Durant les dernières années, notre production indigène de viande porcine, abstraction faite de la viande fournie par les animaux abattus à la ferme et non déclarés (dont la quantité est estimée à 18.000 tonnes, chaque année), a varié comme ci-après (tonnes) ⁽¹⁾ :

1948 : 81.702	1953 : 179.035
1949 : 135.411	1954 : 176.200
1950 : 171.352	1945 : 184.014
1951 : 163.698	1956 : 207.243
1952 : 179.225	1957 : 203.315

Quant à la *demande intérieure* et à la consommation individuelle correspondante, elles ont été les suivantes ⁽²⁾ :

Consommation totale et individuelle de viande porcine, en Belgique

Années	Consommation totale (tonnes)	Consommation moyenne individuelle (kg)	Années	Consommation totale (tonnes)	Consommation moyenne individuelle (kg)
1948	99.214	11,52	1953	171.828	19,53
1949	138.773	16,08	1954	166.060	18,79
1950	159.201	18,39	1955	173.169	19,49
1951	149.449	17,22	1956	191.207	21,36
1952	170.916	19,52	1957	199.036	22,10

D'autre part, dans les conditions présentes du marché, il est généralement admis qu'en Belgique, l'élasticité de la demande de viande porcine par rapport au prix est très faible ; de même, cette demande est peu influencée par l'évolution des revenus.

Quand on compare l'évolution de la production indigène de viande porcine à celle de la consommation totale, on enregistre les mouvements suivants relatifs à la période 1948-1957 :

(1) Source : MAUQUOY, L'évolution du marché de la viande en Belgique (étude annuelle) *Revue de l'Agriculture*, Ministère de l'Agriculture, Bruxelles.

(2) MAUQUOY, L'évolution du marché de la viande en Belgique. *Revue de l'Agriculture*, Bruxelles.

**Indices de la production indigène et de la consommation intérieure globale
de viande porcine (1950-1957 = 100).**

Années	Production	Consommation	Années	Production	Consommation
1948	45,4	57,5	1953	97,8	99,5
1949	74,0	80,4	1954	96,3	96,2
1950	93,6	92,2	1955	100,5	100,3
1951	89,4	86,6	1956	113,2	110,8
1952	97,9	99,-	1957	111,1	115,3

La production indigène de viande porcine augmente plus rapidement que la consommation correspondante. De 1949 à 1957, la première a eu tendance à s'accroître de 1,05%, en moyenne, par année, et la seconde de 0,99%.

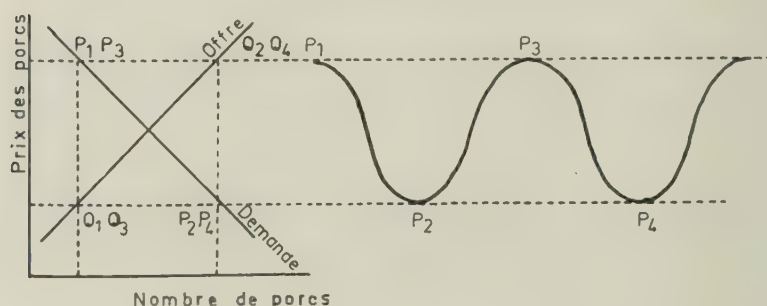
On a enregistré les valeurs suivantes de l'expression :

$\frac{\text{consommation intérieure}}{\text{production indigène}} \times 100 :$	
1949 : 121,4	1953 : 96,-
1949 : 102,5	1954 : 94,2
1950 : 92,9	1955 : 94,1
1951 : 91,3	1956 : 92,3
1952 : 95,4	1957 : 97,9

Cause des mouvements cycliques.

La loi de l'offre et de la demande joue un rôle essentiel dans l'évolution cyclique du prix des porcs (Graphique n° 4).

GRAPHIQUE 4



On sait combien la production de viande est rapide et abondante chez l'espèce porcine : par an, le potentiel de production en viande d'une truie, abstraction faite de son propre gain de poids, est voisin de 1.400 kg. Celle

d'une vache n'atteint pas plus de la moitié de cette quantité (en cas de vente des produits à deux ans).

Lorsque le prix des porcs est jugé favorable, il se manifeste une tendance à tenir davantage de jeunes truies en vue de l'élevage (première génération). Par la livraison de certains animaux (ceux qui ne sont pas gardés pour la reproduction), le marché se trouve mieux achalandé ; cependant, la grosse affluence de viande ne va intervenir que lors de la livraison des produits de deuxième génération, au moment où le prix se trouve déjà à la baisse. Cette livraison le précipite vers un minimum, minimum se situant à un niveau d'autant plus bas que certains engraisseurs, notamment ceux qui ne disposent pas de sous-produits à valoriser et qui ne se livrent qu'occasionnellement à cette activité, liquident tout leur cheptel et que d'autres ne conservent que les animaux nécessaires à la reconstitution de leur troupeau, en cas d'un relèvement prévu et jugé satisfaisant du prix.

Le marché porcin est donc caractérisé alternativement par des périodes de pléthore ou de rareté.

Le prix des porcs, à un temps t , dépend de l'offre faite au même moment et celle-ci est déterminée par le prix existant au temps $t - I$, correspondant à la période de production antérieure ; un certain délai (« time lag ») se manifeste, en effet, avant que la réaction du producteur à l'incitation du prix n'influence l'offre sur le marché.

De son côté, la quantité demandée subit l'influence pratiquement immédiate du prix.

Quand il en est ainsi (offre fonction du prix en $t - I$ et demande dépendante du prix en t), il se manifeste des variations cycliques des quantités et des prix. Dans ce cas, s'applique le théorème de la toile d'araignée (« cobweb theorem »), à propos du mécanisme duquel Tinbergen ⁽¹⁾ qui a contribué à sa découverte, écrit : « Il se présente sous sa forme la plus pure si la demande et l'offre dépendent du prix, la première sans intervalle, la seconde avec un intervalle ».

Différentes alternatives peuvent être envisagées ici ; elles sont liées à l'élasticité des courbes représentatives de l'offre et de la demande :

- 1) Si les réactions globales des offreurs et des demandeurs sont équivalentes, c'est-à-dire si les tangentes aux courbes figurant l'offre et la demande ont des inclinaisons égales mais inverses, ou si l'élasticité de ces courbes est la même, on se trouve en présence de cycles continus, d'amplitudes égales.
- 2) Si la réaction de l'offre est moindre que celle de la demande, c'est-à-dire si l'inclinaison de la courbe de l'offre est moindre que celle de la courbe de la demande, ou encore si la première est moins élastique que la se-

(1) TINBERGEN, *L'économétrie*. Librairie Armand Colin, Paris, 1954, pp. 116 et 117.

conde, les cycles deviennent convergents ; l'offre est assez inerte mais, grâce aux corrections limitées qu'elle subit, on atteindra tôt ou tard le point d'équilibre.

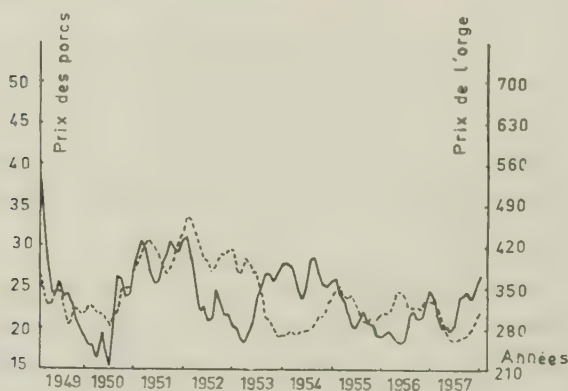
- 3) Si la réaction de l'offre est plus ample que celle de la demande, donc si l'élasticité de la courbe de l'offre dépasse celle de la courbe de la demande, on a affaire à des cycles divergents. Les oscillations du marché ont tendance à se renforcer et celui-ci s'écarte de plus en plus de la position théorique de l'équilibre.

Relation entre le nombre de truies et le prix des porcs de boucherie (1).

L'importance de la mise sur le marché de porcs gras est fonction de l'effectif du cheptel. Plus particulièrement, le nombre de truies d'élevage, fournit une indication relative à la quantité de porcs qui, à un moment donné, seront bons ou considérés comme tels pour l'abattage.

Au cours de la période 1949-1956 (à l'exclusion de l'année 1951, durant laquelle les événements de Corée influencèrent les prix), le coefficient de corrélation négative entre le nombre de truies recensées au 1^{er} janvier et le prix moyen des porcs gras enregistré pendant l'année correspondante a été de $-0,67$; les variations du prix ont été plus sensibles que celles du nombre de truies d'élevage.

GRAPHIQUE 5



Évolution du prix des porcs — (Fr. par kg.) et du prix de l'orge d'hiver - - - (Fr. par quintal).

(1) Signalons en passant qu'il existe une liaison assez sensible entre le nombre de porcs recensés, le 15 mai de chaque année, dans les exploitations agricoles de 1 ha. de superficie utile au moins et la quantité de viande porcine abattue l'année suivante. Pour la période 1949-1957, la corrélation entre les deux faits est figurée par le coefficient $+ 0,68$.

Prix des céréales fourragères et prix des porcs gras.

D'aucuns estiment que le cycle du prix des porcs gras est déterminé par les fluctuations des prix des aliments qu'ils consomment.

Sur le graphique n° 5 (p. 160), on a porté, d'une part, le diagramme du prix des porcs gras sur pied (fr. par kg.) et, d'autre part, celui du prix du quintal d'escourgeon ⁽¹⁾ (prix à la production).

Jusqu'en mars 1953, les deux courbes présentent une allure assez comparable, encore qu'à partir de janvier 1952, le prix de l'escourgeon reste élevé par rapport à celui des porcs. Après octobre 1956, les variations des prix paraissent aussi liées dans l'immédiat.

Par contre, après le premier trimestre de 1953, une période de bas prix de la céréale se superpose à une période de prix satisfaisant des porcs et semble annoncer la phase descendante du cycle, qui débute en août 1954, c'est-à-dire au terme d'un délai dont la longueur paraît normale pour que les effets de la réaction de l'agriculteur, doublement encouragé (prix des porcs convenable et prix des céréales fourragères fort bas) à produire de la viande porcine, se fassent sentir.

Il est aussi certain que les prix élevés des céréales fourragères peuvent encourager l'assainissement du secteur porcin ; le phénomène s'est produit à la fin de 1950, alors que le prix des porcs était à la hausse.

Par contre, les bas prix enregistrés après la récolte de 1955 ont fort bien pu influencer l'expansion de la production en 1956 ; l'agriculteur a, sans doute, voulu profiter des possibilités qu'il a de faire passer par la transformation, les céréales fourragères de leur marché propre sur le marché porcin entre autres.

D. — LES VARIATIONS RÉSIDUELLES

Les variations résiduelles sont déterminées par des causes diverses. Leur existence doit commander la plus grande circonspection dans l'étude du « pourquoi » des variations des prix.

1) *Les causes accidentelles.*

a) Les séquelles de la dernière guerre mondiale : De février ⁽²⁾ à septembre 1948, le prix des porcs à la production eut tendance à hausser par suite de la modicité persistante de l'offre. C'est seulement à partir d'octobre qu'un revirement se produisit ; il résultait de l'ac-

(1) Les prix des orges et du seigle sont étroitement liés. Entre 1949 et 1956, la corrélation entre les prix annuels de l'escourgeon et du seigle a été de + 0,986 ; celle entre ceux de l'escourgeon et de l'orge de printemps a été de + 0,982.

(2) Époque de la suppression du prix officiel (supra).

croissement des disponibilités en denrées fourragères (forte production indigène et importation abondante d'aliments pour le bétail) et de la diminution de leurs prix.

b) *La guerre de Corée*: C'est en juin 1950 que l'on enregistra le prix le plus bas de l'après-guerre. Les hostilités de Corée furent déclenchées le 24 de ce même mois. Cet événement précipita certes la hausse du prix car le porc est pourvoyeur de matières grasses et de produits se prêtant bien à la conservation. Observons cependant qu'au moment où elle débuta, le retournement du cycle était prévisible mais que la hausse cyclique se superposa vraisemblablement à la hausse saisonnière qui intervint vers le milieu de l'année.

c) *Le conflit de Suez*: Au début de novembre 1956, le conflit de Suez détermina une légère hausse du prix, hausse provoquée notamment par celle des matières grasses achetées en quantité inhabituelle.

d) A la fin de 1951 et au début de 1952, les arrivages des porcs au marché furent faibles à cause de la fièvre aphteuse qui sévissait à l'époque dans tout le pays. De ce fait, on enregistra une augmentation du prix publié par le Ministère de l'Agriculture (même si on en élimine la variation saisonnière), bien que l'on atteignait la fin du cycle I, étudié précédemment, dont la durée a été ainsi, peut-être, prolongée accidentellement.

2) *La politique gouvernementale.*

En ce qui concerne le prix des porcs sur pied, le Gouvernement s'efforce de mener une politique anticyclique.

Celle-ci est axée sur la règle suivante : fixation, à partir du 5 janvier 1951, par le Comité ministériel de Coordination économique, d'un prix de direction, et, ultérieurement, d'un prix de direction, d'un « prix plancher » et d'un « prix plafond », pour les porcs demi-gras sur pied.

En principe, le prix de direction couvre le coût moyen de production de ces derniers.

On a enregistré les modifications suivantes autour du principe esquissé :

15-1-1951 :	fixation du prix de direction à	26,40 Fr. le kg. sur pied ;			
9-2-1951 :	»	»	»	30,00	»
1-1-1953 :	»	»	»	26,50	»
15-10-1953 :	»	»	»	24,50	»
25-10-1955 :	fixation d'un « prix plancher »	(19,60 Fr.)	inférieur de 20 p.c. au prix de direction ;		
14-3-1957 :	fixation du « prix plancher »	à 21,00 Fr. le kg sur pied ;			
2-4-1957 :	fixation d'un « prix plancher », d'un prix de direction et d'un « prix plafond »				
	(respectivement :	22,50, 25,00 et 27,50 Fr. le kg. sur pied).			

On tente d'éviter des oscillations trop fortes en deçà et au-delà du prix considéré comme normal en influençant l'offre ou la demande des produits :

- En cas de prix fort des porcs : importation de porcs vivants ou abattus et de viande porcine (1) ; prohibition ou restriction (contingents, licences) de l'exportation.
- En cas de prix faible : interdiction d'importer ; intervention de l'Office commercial du Ravitaillement (O.C.R.A.) qui se porte acheteur de viande porcine pour l'armée ou en vue de l'exportation ; encouragement à l'exportation : intervention du Fonds agricole, créé par la loi du 29 juillet 1955 ; cette intervention peut consister en l'octroi de subsides à l'exportation de porcs vivants, demi-porcs frais ou congelés, pièces détachées à l'état frais, salées, congelées ou en boîtes ; elle peut aussi consister en la ristourne de la totalité ou d'une partie de la taxe d'abatage (portée de 0,31 à 1,25 Fr le kg. sur pied, à partir du 13 juin 1956) grevant certains produits de viande contenant de la viande porcine exportée (conserves de jambon et d'épaules, luncheon meat, saucissons secs).

3) *Les possibilités de vente à l'étranger.*

Depuis 1950, notre pays a enregistré, comme on l'a déjà souligné, un excédent d'exportation de viande porcine. Cet excédent a été particulièrement sensible en 1956, année où notre production a atteint son niveau le plus élevé. En effet, il s'est monté à 16.036 tonnes (2), c'est-à-dire qu'il a représenté 7,7% de la production indigène.

Le prix des porcs ne résulte donc plus exclusivement de l'équilibre offre-demande intérieure ; il dépend aussi des possibilités de trouver des débouchés à l'étranger en vue de désencombrer éventuellement le marché belge.

Il n'a pas toujours été aisé de satisfaire à cet impératif et les obstacles rencontrés ont été de nature variée :

- Interdiction d'importer prise par l'étranger pour des motifs vétérinaires : en décembre 1951, la France, qui, au cours de cette année, nous avait acheté beaucoup de porcs vivants, en prohiba l'importation à cause de la fièvre aphteuse qui sévissait chez nous ; durant les troisième et

(1) L'importation, en Belgique, de viande porcine congelée ne peut plus être prohibée depuis le 4 octobre 1950 ; à cette date, les échanges de ce produit ont, en effet, été libérés par notre pays dans le cadre de l'Organisation européenne de Coopération économique. Pareille mesure n'a guère d'effet. Le Belge ne consomme que peu de viande congelée quand l'approvisionnement en viande fraîche est normal.

Par ailleurs, l'importation de certaines catégories de jambons est toujours autorisée.

(2) Il s'agit ici du bilan du commerce extérieur auquel donnent lieu les porcs vivants (poids abattu), la viande fraîche, réfrigérée ou congelée, le lard frais, le lard et les jambons préparés.

quatrième semestres de 1956, l'Allemagne fédérale refusa d'importer du lard frais en provenance de Belgique ; à certains moments, d'autres pays prirent une mesure identique (notamment l'Italie et la Suisse).

- Restrictions à l'importation parfois édictées par certains pays voisins qui éprouvaient des difficultés à équilibrer leur balance des paiements (France et Grande-Bretagne, en 1952, année au cours de laquelle notre production passa de l'indice 100 durant le premier trimestre à l'indice 122 durant le quatrième).
- Cours mondial de la viande porcine artificiel.
- Prix parfois élevé et qualité laissant à désirer de nos fournitures, notamment par comparaison à celles de provenance danoise ou hollandaise.
- Absence de continuité dans nos fournitures, à la suite du caractère cyclique de l'offre des porcs en Belgique et de la politique des prix menée par le Gouvernement.
- Tendance, au cours des dernières années, à l'accroissement de la production de viande porcine dans certains pays exportateurs et importateurs (1).

En Europe occidentale, cette tendance s'est surtout manifestée chez les principaux exportateurs (Pays-Bas, Danemark) et importateurs (Royaume-Uni, Allemagne fédérale, Autriche, etc.). A l'exception de l'Italie qui a enregistré une diminution de sa production, on peut constater que pour les pays traditionnellement importateurs, l'augmentation de la production indigène couvre au moins celle des besoins.

Par ailleurs, des pays de l'Europe orientale, tels que la Hongrie, la Pologne et la Roumanie, qui, avant la dernière guerre mondiale, étaient d'importants fournisseurs des marchés européens, principalement en porcs vivants, ne demeurent pas en reste. En 1957, la Pologne occupait déjà la deuxième place parmi les fournisseurs étrangers du Royaume-Uni.

4) *Les causes aléatoires.*

Les variations aléatoires ne peuvent guère être analysées. Elles résultent de l'imperfection d'un des éléments de la règle « des trois unités » (lieu, temps, prix) qui théoriquement, régit tout marché. Il est probable qu'elles représentent le reflet des prévisions erronées des acheteurs et des vendeurs lesquels sous- ou surestiment les perspectives futures, reflet qui n'est révélé au qu moment où ils rectifient leur appréciation initiale de l'offre et de la demande.

(1) Voir à ce sujet, notamment : « Viande : Situation et perspectives de la viande de porc en Europe ». F.A.O. — Bulletin mensuel Économie et Statistique agricoles. Volume VII, n° 7/8, pp. 17-20. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome.

PRIX DE DÉTAIL DES PRODUITS DU PORC (1)

Au cours de la période envisagée (1948-1957), des mesures officielles ont généralement régi les prix de détail de la viande porcine (fixation de prix ou de marges bénéficiaires maxima dans le commerce de la viande de porc).

La première de ces mesures, au moins, à la condition qu'elle soit édictée indépendamment du prix de direction est de nature à influencer le prix des porcs sur pied. S'il en était éventuellement ainsi, elle s'apparenterait aux causes provoquant des variations résiduelles du prix.

Pour mettre en évidence l'évolution du prix à la production et des prix de détail, on a calculé divers indices relatifs au prix à la production et aux prix moyens pondérés à la consommation respectivement de l'ensemble des produits du porc, des produits les plus prisés du public (rôtis, côtes au filet, côtelettes, spiring) et des produits moins « nobles » (saindoux, lard gras, lard maigre, hachis et saucisses, têtes, pattes, etc).

1°) *Évolution des indices des prix* (année de référence : 1949).

ANNÉES	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
Prix à la production	100-	83	113	93	91	105	85	81	89
<i>Prix à la consommation :</i>									
Ensemble des produits	100	80	94	91	86	95	90	87	92
Produits les mieux prisés	100	86	101	99	106	103	103	103	108
Produits les moins prisés	100	73	87	82	73	85	78	76	77

2°) *Évolution des indices en chaînes des prix.*

Les indices en chaînes expriment ici l'évolution en pour cent des prix d'une année quelconque par rapport à la précédente.

ANNÉES	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
Prix à la production	100	82,5	136,3	82,5	98,2	114,9	80,9	95,4	110,2
<i>Prix de détail :</i>									
Ensemble des produits	100	79,7	118,3	96,1	95,2	110,4	94,9	98,8	103,6
Produits les plus demandés	100	86,-	118,-	97,7	100,1	106,7	97,5	99,9	104,8
Autres produits	100	73,3	118,8	94,3	89,1	115,6	91,6	97,4	101,9

(1) Voir à ce sujet : La consommation de viande et de produits dérivés, *Bulletin de Statistique*, n° 6, 1957, pp. 1201-1222, Institut national de Statistique, Bruxelles.

Les prix de détail, ont été, en général, moins fluctuants que le prix à la production. Il n'y a là rien d'anormal car il est connu que la distribution amortit les écarts des prix.

L'écart-type des variations des prix des pores à la production a été voisin de 11%, celui des variations des prix de détail de l'ensemble des produits fournis par le porc a atteint 6%.

Les prix de détail des produits les plus appréciés varient relativement moins que ceux des autres produits. La hausse assez forte de ceux-ci, en 1951, est due principalement à une augmentation sensible du prix du lard maigre et des prix du hachis et des saucisses qui dépendent du précédent : cette année, la production porcine avait diminué (niveau le plus bas après 1951).

Les prix de détail apparaissent fréquemment plus fluctuants à la hausse qu'à la baisse du prix à la production. Ceci est surtout vrai pour les produits nobles.

La différence absolue entre le prix de détail de ceux-ci et le prix des pores se maintient et tend même à augmenter ; en temps normal, cet écart évolue donc en valeur relative en sens inverse du prix à la production. La différence entre les prix du lard maigre et du haché et le prix des pores paraît assez constante. Le prix du lard gras, auquel est lié celui du saindoux, ne couvre pas toujours le coût des pores ; la désaffection du public vis-à-vis de ces produits tend, en effet, à se renforcer.

Enfin, il ne semble pas, à l'examen des liaisons verticales entre les prix, que la politique des prix à la consommation exerce une influence sur le prix des pores à la production.

Les Mutations induites par les Rayons X chez l'orge distique

(*Hordeum sativum* Jess. subsp. *distichum*) (*)

par A. Moës (**)

CHAPITRE II

LE SPECTRE DES MUTATIONS CHEZ L'ORGE

Un travail fondamental consiste à rechercher quels sont les caractères qui peuvent être modifiés par les mutations et dans quels sens se produisent les transformations induites : les radiations ionisantes ne modifient-elles que des attributs accessoires ou peuvent-elles également engendrer des bouleversements profonds du phénotype ? Les mutants obtenus peuvent-ils marquer un progrès par rapport à la lignée d'origine ?

Pour répondre à ces questions, nous avons étudié les effets des mutations sur les divers organes de l'orge et examiné leur influence sur les divers stades du développement.

L'orge, à cause de son autofécondation, de sa taille assez grande, de sa période de végétation assez longue, est un sujet très favorable pour l'analyse approfondie des effets des mutations sur les caractères quantitatifs.

Au cours du chapitre précédent, nous avons classé les mutants en mutants stériles, chlorophylliens, morphologiques et physiologiques mais il arrive souvent que la totalité des modifications phénotypiques d'une mutation ne puisse s'intégrer dans une seule de ces classes. Pour cette raison, nous avons jugé préférable de décrire les caractères mutés en suivant le développement de la plante depuis la germination jusqu'à la maturité.

(*) Chapitre I dans *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, Tome XXVI n° 4, pp. 335-361.

(**) Associé du Fonds National de la Recherche Scientifique.

LES MUTANTS CHLOROPHYLLIENS

Les mutants chlorophylliens sont fréquents chez l'orge où ils apparaissent dès le stade de plantule ; ils sont classés selon le schéma dressé par GUSTAFSSON :

<i>albina</i>	: ni caroténoïdes, ni chlorophylles
<i>xantha</i>	: les caroténoïdes prévalent ou les chlorophylles ne sont pas produites
<i>chlorina</i>	: couleur vert-jaunâtre
<i>virescens</i>	: couleur vert clair uniforme
<i>viridoalbina</i>	: pointe verte — base blanche
<i>alboviridis</i>	: pointe blanche — base verte
<i>alboxantha</i>	: pointe blanche — base jaune
<i>xanthalba</i>	: pointe jaune — base blanche
<i>tigrina</i>	: bandes transversales brunes ou jaunes
<i>striata</i>	: bandes longitudinales blanches ou jaunes
<i>maculata</i>	: destruction des pigments en plages ou en points
divers	

Lorsque les conditions de l'irradiation et du milieu de développement sont identiques, les proportions des divers types sont assez stables ; dans les essais effectués en plein champ en 1954 et en 1955, des taux très voisins de mutants chlorophylliens ont été notés ; par contre, dans les recherches poursuivies en serre en 1956, des chiffres nettement différents ont été atteints (variété irradiée : Pirolina).

TABLEAU 17

	Année 1954	Année 1955	Année 1956
Nombre total de mutants observés :	177	367	812
<i>albina</i>	41,24 %	42,23 %	48,27 %
<i>virescens</i>	20,90 %	22,34 %	16,25 %
<i>alboviridis</i>	7,90 %	8,99 %	0,36 %
<i>xantha</i>	7,34 %	7,35 %	8,25 %
<i>chlorina</i>	6,77 %	7,08 %	8,49 %
<i>viridoalbina</i>	5,64 %	4,90 %	6,89 %
<i>maculata</i>	2,82 %	1,63 %	1,84 %
<i>striata</i>	1,12 %	2,45 %	0,36 %
<i>divers</i>	6,27 %	3,03 %	9,29 %

La caractéristique essentielle qui différencie le milieu ambiant en 1956 par rapport à celui des semis de plein champ, est la température plus élevée atteignant en moyenne $\pm 15^{\circ}\text{C}$; c'est probablement à ce facteur qu'il faut

attribuer les taux plus faibles de *virescens* et d'*alboviridis* observés en serre. On peut supposer que chez un nombre plus ou moins important de ces mutations, la température influence la chaîne de réactions qui va du gène au caractère.

Parmi ces divers mutants, les types *albina*, *alboviridis*, *xantha*, une partie des *chlorina* et des *maculata* sont léthaux ; les autres, par contre, sont viables et peuvent être fixés à l'état homozygote.

Toutes ces mutations constituent les divers échelons d'une gamme qui ne s'étend que dans le sens négatif à partir du type normal, mais, au cours des essais effectués en serre en 1957, un type plus riche en chlorophylle est apparu. Le mutant Xe 214.107P a été trouvé dans la descendance X2 issue d'une plante X1 qui portait 9 épis ; la descendance d'un de ces épis comprenait 3 plantes X2 normales, 1 hétérozygote et 2 homozygotes pour une coloration plus foncée du feuillage. D'après l'Horticultural Color Chart, Pirolina est classée : 7,5 G Y 37,5 chroma 6, valeur 5, tandis que le mutant correspond à 7,5 G Y 37,5 chroma 6, valeur 4.

Ce mutant a une croissance plus lente que Pirolina et, à maturité, il est légèrement plus court. Par contre, les divers stades du développement : tallage, épiaison, maturité, correspondent à ceux de la lignée originale.

La découverte d'un mutant chlorophyllien à pigmentation plus foncée est très intéressante parce qu'elle démontre que, dans ce domaine, les modifications héréditaires provoquées par les radiations ne sont pas uniquement induites dans un sens négatif mais que des cas de mutations positives existent également.

LE PORT AU TALLAGE

Le port au tallage de la variété Pirolina est assez dressé ; l'observation des mutants révèle que ce caractère peut être modifié dans l'un et l'autre sens. Ainsi, en 1956, après semis du 30 mars, diverses lignées ont, au tallage (observations du 17 mai), des ports très divers : érigé (Xb 383.274P), mi-érigé (Xb 388.291P), mi-dressé (Xb 382.390P), assez étalé (Xb 383.64P) alors que bon nombre cependant ne diffèrent pas du témoin.

LA COLORATION À LA MONTÉE EN TIGE ET LA RÉSISTANCE À LA SÉCHERESSE

Lorsque débute la montée en tige, des différences de coloration du feuillage se manifestent qui sont cotées d'après une échelle de points qui va de 0 pour une teinte jaune à 10 pour un ton vert-bleu foncé. Ce caractère paraît directement en relation avec la résistance à la sécheresse ; les organes de printemps peuvent souffrir d'un approvisionnement en eau insuffisant après le semis ; le phénomène devient très net au moment de la montée en tige provoquant un jaunissement des plantes auquel les variétés riches en

chlorophylle résistent nettement mieux que les orges de teinte claire. Les différences variétales sont d'autant plus marquées que les précipitations atmosphériques sont rares durant cette période, ce qui fut le cas en 1956.

Divers mutants issus de Piroline étaient alors plus colorés ou plus clairs que cette variété :

TABLEAU 18

Cote de coloration	Mutants
4	Xb 383.23P, Xb 387.110P
5	Xb 389.440P
6	Piroline
7	Xb 381.361P, Xb 382.19P, Xb 382.179P, Xb 387.288P
8	Xb 380.44P, Xb 381.244 P, Xb 383.274P, Xb 384.38P

LA FORME DES FEUILLES

Les feuilles peuvent présenter des formes très différentes chez les mutants induits. En 1957, des cas typiques ont été choisis dans les lignées issues de Kenia, Herta et Piroline. La largeur à la base et la longueur de la troisième feuille ont été mesurées sur des échantillons comprenant 50 exemplaires pour chaque type.

TABLEAU 19

Lignée	Largeur	Longueur	Largeur
			Longueur
RX 13K	6,14 $\pm$ 0,41 mm	19,60 $\pm$ 0,28 cm	3,13 %
RX 1144K	8,72 $\pm$ 0,15 mm	18,10 $\pm$ 0,24 cm	4,81 %
Kenia	10,20 $\pm$ 0,23 mm	22,72 $\pm$ 0,29 cm	4,48 %
RX 12K	11,64 $\pm$ 0,17 mm	20,80 $\pm$ 0,26 cm	5,59 %
Xb 401.5H	6,86 $\pm$ 0,11 mm	12,38 $\pm$ 0,17 cm	5,54 %
Xc 21.28H	8,98 $\pm$ 0,21 mm	20,56 $\pm$ 0,08 cm	4,36 %
Herta	10,20 $\pm$ 0,19 mm	21,82 $\pm$ 0,27 cm	4,67 %
Xa 13.2H	13,38 $\pm$ 0,21 mm	21,38 $\pm$ 0,24 cm	6,25 %
Xa 16.1H	15,06 $\pm$ 0,11 mm	26,10 $\pm$ 0,19 cm	5,77 %
Xb 384.39P	7,32 $\pm$ 0,13 mm	16,06 $\pm$ 0,20 cm	4,55 %
Xc 5.14P	9,44 $\pm$ 0,18 mm	19,62 $\pm$ 0,30 cm	4,81 %
Piroline	9,94 $\pm$ 0,15 mm	20,22 $\pm$ 0,27 cm	4,91 %
Xb 389.15P	11,54 $\pm$ 0,15 mm	21,64 $\pm$ 0,24 cm	5,33 %
Xc 4.133P	13,16 $\pm$ 0,19 mm	20,06 $\pm$ 0,22 cm	6,56 %

La longueur et la largeur des feuilles peuvent donc être accrues ou réduites chez les mutants. Il existe parfois une relation entre les variations de ces deux dimensions mais elle n'est pas uniforme. Dans la série des mutants de Piroline, le rapport se modifie régulièrement ce qui indique que la diminution ou l'accroissement de la largeur est plus fort que la diminution ou l'accroissement de la longueur ; chez les mutants de Kenia et de Herta, par contre, cette relation n'est pas observée dans tous les cas.

Des modifications héréditaires de la structure des feuilles sont également apparues.

Ainsi, les mutants Xb 401.5H, Xb 383.1P, Xb 383.28P sont dépourvus de ligule ; leur étude sera détaillée au cours de l'examen des phénomènes de pleiotropie.

Chez Xb 383.36P, les feuilles demeurent enroulées longitudinalement jusqu'à la montée en tige ; ensuite elles se déroulent et deviennent planes.

Xc 12.2P développe des feuilles gaufrées ; ce caractère est en liaison avec l'ondulation des barbes et du sommet de la tige.

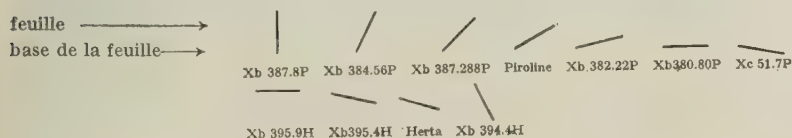
Le mutant Xc 21.1H forme des feuilles transformées supplémentaires ; dans cette lignée, des bractées croissent sur les paliers inférieurs de l'épi ; à la base de celui-ci, elles atteignent au maximum 40 mm × 10 mm, elles diminuent de grandeur d'épillet en épillet et elles disparaissent approximativement au niveau du dixième palier.

Les mutations modifient donc la forme et la structure des feuilles, de plus, elles peuvent faire apparaître des bractées sur des organes qui en sont normalement dépourvus.

LE PORT DE LA DERNIÈRE FEUILLE À L'ÉPIAISON

Le port de la dernière feuille à l'épiaison est un caractère variétal bien qu'il varie fortement au cours du développement et sous l'influence des conditions du milieu. Il importe de l'observer à un stade bien défini et celui qui a été retenu ici est le début de l'épiaison lorsque deux étages d'épillets sont apparents.

Les observations effectuées en 1957 montrent que, chez les mutants, la dernière feuille peut être plus ou moins érigée que chez la lignée originale :



LE DÉVELOPPEMENT DE LA PRUINE

La pruine existe normalement chez les variétés soumises aux irradiations ; son intensité et sa dispersion peuvent être profondément modifiées par mutation.

A une extrémité de la série de mutants, on rencontre les types non prumineux.

Xb 383.138P appartient à cette catégorie ; il suit un développement absolument identique et possède la même productivité (essais de 1956) que Piroline, cependant sa résistance à la verse (*) est significativement plus faible : 5,7 contre 7 pour la variété originale.

Xb 394.62H est une autre lignée dépourvue totalement de pruine ; elle est modifiée beaucoup plus profondément que le mutant précédent ; si on la compare à Herta, son port à la montée en tige est plus érigé, sa coloration est un peu plus foncée, sa dernière feuille et son épi ont un port plus dressé, sa paille est 6 cm plus courte et son rendement n'atteint que $75,90 \pm 2,60\%$ de celui du témoin (essais de 1956).

A un stade intermédiaire, on trouve :

Xb 383.53P dont le revêtement prumineux est moins développé sur tous les organes ;

Xb 382.4P dont les feuilles ne sont pas prineuses ;

Xb 382.8P dont les épis sont moins prineux, et

Xb 383.26P dont les tiges sont moins prineuses.

Divers mutants appartiennent à la catégorie des types plus prineux.

Chez Xb 384.38P, la tige seule est plus prineuse ; par rapport à Piroline, il présente une coloration nettement plus foncée à la montée en tige, il mûrit un jour plus tôt, il est 6 cm plus court, sa dernière feuille à l'épiaison et son épi à maturité sont nettement plus érigés, sa résistance à la verse n'atteint que 4,7 (contre 7 pour Piroline), enfin son rendement ne s'élève qu'à $68,50 \pm 1,93\%$ de celui du témoin (essais de 1956).

Xb 384.56P a également la tige plus prineuse que la lignée originale ; son développement et son rendement sont très semblables à ceux de Piroline (essais de 1957) mais son épi est plus compact et plus érigé.

Chez Xb 384.43P, l'accroissement du revêtement prineux est très marqué sur la tige et sur la gaine ; son épi est plus dressé et sa maturité quatre jours plus tardive que celle de Piroline.

Xb 381.37P a tous les organes plus prineux ; c'est un mutant tardif dont l'épiaison et la maturité se produisent respectivement 9 et 6 jours

(*) La résistance à la verse est cotée suivant une échelle qui va de 10 : maximum de résistance à 0 : verse totale.

après celles de Piroline ; sa paille est 13 cm plus courte ; son épi est plus compact et légèrement stérile.

Ces quelques cas montrent que le revêtement prumineux peut subir des modifications héréditaires d'intensités très différentes dans le sens de l'accroissement et de la réduction.

LA COLORATION DE LA PAILLE

Diverses mutations exercent une action sur la coloration de la paille ; celle-ci peut être plus blanche : Xb 387.8P, Xc 21.2H ; plus jaune : Xb 383.36P, Xc 22.2H ; plus riche en anthocyane : Xb 382.42P ; plus bleue au moment de la maturité de l'épi (25 Juillet 1957) : Xc 22.29H.

LA COLORATION DE L'ÉPI

Quelque temps après l'épiaison (une quinzaine de jours), l'épi de Piroline se colore légèrement en rouge à la suite de formation d'anthocyane dans les tissus des glumelles et des barbes. Chez certains mutants qui ont la même précocité que la variété originale, on remarque que l'anthocyane ne se forme pas, par exemple chez Xb 384.53P dont l'épi demeure absolument vert comme celui de Balder ; par contre, chez d'autres mutants tels que Xc 51.7P, l'anthocyane se développe en quantité beaucoup plus élevée.

A maturité, diverses modifications héréditaires sont également perceptibles ; alors que l'épi de Piroline est de couleur jaune paille, chez certains mutants il peut être plus pâle : Xb 383.29P, plus jaune : Xb 382.42P ou plus rosé : Xc 51.7P. La coloration de ce dernier trouve son origine dans le développement d'anthocyane apparu après l'épiaison.

LE NOMBRE DE RANGS DE L'ÉPI

Le nombre de rangs de l'épi est, chez l'orge, un caractère taxonomique de première importance. Il a été adopté par de nombreux botanistes : LINNÉ, SCHÜBLER, DÖLL, CARLETON, HARLAN, WIGGAN, NEVSKI pour classer les orges cultivées en plusieurs espèces mais à partir de 1936, ORLOV groupe toutes les variétés cultivées en une seule espèce : *Hordeum sativum* Jess. subdivisée en sous-espèces d'après le nombre de rangs : *subsp. vulgare* L., *subsp. distichum* L., *subsp. intermedium* Vav. et Orl.

Cette conception est plus logique parce que les orges distiques et polytiques se croisent parfaitement ; de plus, les recherches de mutagenèse montrent que le nombre de rangs peut être modifié par mutation ce qui prouve que son déterminisme génétique est simple.

Les modifications du nombre de rangs résultant de mutations sont nombreuses ; à partir du type *distichum* chez lequel chaque palier d'insertion porte un épillet médian fertile et deux épillets latéraux stériles, on a vu

apparaître diverses lignées où les épillets latéraux marquent une évolution plus ou moins complète vers la fertilité totale.

Ainsi, Xc 51.11P est un mutant à deux rangs dont les épillets latéraux ont des glumelles plus grandes (13 mm de longueur ; 1,4 mm de largeur) que le type normal (8 mm de longueur ; 0,8 mm de largeur).

Xb 389.7P développe un petit nombre d'épillets latéraux fertiles, au maximum 5 par épi, dont le grain ne dépasse pas le tiers du volume du grain normal. Dans les essais de 1956, le rendement de cette lignée n'a atteint que $81,64 \pm 2,62\%$ de celui du témoin avec un tallage de $88,83 \pm 2,87\%$.

Xb 388.8P est un mutant *intermedium* ; la majeure partie de ses épillets latéraux sont fertiles mais leurs glumelles portent des barbes réduites et les grains qu'ils forment sont notablement plus petits que les grains médians.

Xc 41.5 P est un mutant à six rangs typique chez lequel chaque palier d'insertion de l'épi porte 3 épillets normalement développés. Son épi a la même densité que celui de Piroliné.

A côté de cette série qui peut être qualifiée de normale, on trouve une série aberrante :

Xb 384.57P porte sur certains de ses épis un groupe supplémentaire



PHOTO 3. — De gauche à droite : Piroliné, Xc 51.11P, Xb 389.7P, Xb 388.8P, Xc 41.5P.

de 3 épillets (1 médian fertile et 2 latéraux stériles) placés perpendiculairement aux épillets normaux sur un palier d'insertion dédoublé en deux plans perpendiculaires.

Xd 215.75H présente un phénomène très particulier ; sur 20 à 25 % des grains médians, le rachillet se transforme en un axe plus ou moins cylindrique de 0,5 mm de diamètre et de 10 mm maximum de longueur, portant un ou deux épillets ; l'épi est mutique et totalement stérile.

Xb 383.12P développe, sur chaque épi, un ou deux axes supplémentaires plus ou moins arrondis de 0,6 mm de diamètre et de 10 mm maximum de longueur qui portent un ou deux épillets stériles mais ici, contrairement au type précédent, l'axe ne provient pas d'un rachillet transformé, il prend naissance derrière le grain médian sur un bourrelet supplémentaire formé par le rachis. Le rachillet est normalement développé.

Chez Xb 389.15P, des rachis latéraux remplacent les grains médians dans la moitié inférieure du rachis de l'épi ; ces rachis secondaires possèdent exactement la même structure que le rachis principal et portent un à cinq grains fertiles.

Ces quelques cas montrent que la mutagénèse peut faire réapparaître la série complète des phénotypes existants mais qu'elle est à même d'induire également des formes absolument nouvelles qui n'existent pas à l'état naturel.

LA LONGUEUR DE L'ÉPI

La longueur de l'épi est déterminée par le nombre et la longueur des articles du rachis. Les mutants que nous avons obtenus constituent une série complète de formes dans laquelle les épis les plus courts ont une compacité plus forte et les épis les plus longs, une compacité plus faible.

En 1957, les longueurs extrêmes furent les suivantes :

TABLEAU 20

Lignée	Longueur de l'épi
Xb 387.7P	46,26 $\pm$ 0,82 mm
Xb 381.7P	49,34 $\pm$ 0,86 mm
Xc 3.41P	51,60 $\pm$ 1,04 mm
Piroline	73,33 $\pm$ 1,75 mm
Xb 382.51 P	92,32 $\pm$ 1,75 mm
Xb 383.28P	106,41 $\pm$ 2,16 mm



PHOTO 4. — De gauche à droite : Xb 384.57P, Xd 215.75H, Xb 383.12P, Xb 389.15P.



PHOTO 5. — De gauche à droite : Xd 215.75H, Xb 383.12P.

LA COMPACITÉ DE L'ÉPI

Les mutants à épis compacts apparaissent fréquemment après irradiation par rayons X ; les chercheurs suédois leur attachent beaucoup d'intérêt parce que leur résistance à la verse est souvent plus élevée que celle de la lignée dont ils proviennent.

50 épis ont été prélevés dans divers mutants de compacité et leur densité a été déterminée en divisant la longueur totale de chaque épi par le nombre d'articles du rachis ; on obtient ainsi la longueur moyenne d'un article en mm :

TABLEAU 21

Lignée	Année 1956	Année 1957
Xb 387.288P	$1,721 \pm 0,015$ mm	$1,954 \pm 0,017$ mm
Xc 3.41P	—	$2,080 \pm 0,023$ mm
Xb 380.6P	—	$2,346 \pm 0,026$ mm
Xb 381.7P	—	$2,484 \pm 0,026$ mm
Xb 382.5P	—	$2,705 \pm 0,022$ mm
Xb 381.244P	$2,546 \pm 0,014$ mm	$2,848 \pm 0,020$ mm
Xb 390.348P	$2,674 \pm 0,014$ mm	—
Xb 383.122P	$2,758 \pm 0,014$ mm	—
Piroline	$2,835 \pm 0,015$ mm	$3,073 \pm 0,030$ mm
Xb 380.372P	$2,908 \pm 0,017$ mm	—
Xb 389.440P	$3,003 \pm 0,024$ mm	—
Xb 382.390P	$3,261 \pm 0,044$ mm	—

Ces chiffres démontrent que, par mutation, il se produit pour ce caractère une série complète de modifications héréditaires à des degrés très divers dans l'un et l'autre sens ; l'écart maximum que présente l'accroissement de la longueur des articles du rachis est cependant nettement plus réduit que l'écart maximum qui se produit en sens contraire.

En plus de ces types, des mutants de compacité irrégulière apparaissent ; l'irrégularité peut être peu marquée (chez RX 107.1K) mais elle peut aussi être très prononcée (comme chez Xc 41.10P) et donner à l'épi une forme très bizarre qui est cependant due en majeure partie à la variation de la longueur des articles du rachis.

Les mutants à épis compacts ne constituent donc qu'une partie des composants d'une gamme complète de mutations modifiant la densité de l'épi.



PHOTO 6. — Épi à compacité irrégulière : RX 107.1K



PHOTO 7. — A gauche : Piroline ; à droite : Epi à compacité irrégulière :
Xc 41.10P.

LES CARACTÈRES DES BARBES

Les mutations qui portent sur les caractères des barbes sont assez fréquentes ; elles provoquent l'apparition de divers phénotypes :

Xd 215.75H est absolument mutique alors que la lignée dont il est issu porte des barbes qui atteignent 100 à 110 mm.

Xc 11.3P développe des barbes qui ont, au maximum, 16 à 17 mm dans le tiers inférieur de l'épi.

RX 12K possède des barbes de longueur moyenne qui ont 30 à 35 mm dans le tiers inférieur de l'épi et 15 à 20 mm au sommet.

La glume est, chez l'orge cultivée, un organe très réduit qui atteint seulement 5 mm $\times$ 0,5 mm et porte une barbe de 6 mm environ. Chez certains mutants, elle peut être considérablement agrandie.



PHOTO 8. — De gauche à droite : Pirolina, Xd 215.75H, Xc 11.3P, RX 12K, Xc 50.20P, Xc 22.5H, Xb 389.5P.

Les glumes de Xc 50.20P atteignent 13 mm $\times$ 3 mm et portent une barbe de 60 à 70 mm ; chaque épillet comprend donc une barbe normale sur la glumelle et deux barbes supplémentaires sur les glumes.

Chez Xc 22.5H, la glume a un format un peu plus réduit : 10 mm $\times$ 2 mm et elle porte une barbe de 15 mm ; la barbe de la glumelle est plus courte que chez la lignée originale : elle n'atteint que 40 à 55 mm.

Les barbes de Xb 389.5P sont ondulées ; ce phénotype est assez fréquent car il est apparu neuf fois au cours de nos recherches mais tous les mutants

où ce caractère est présent ne l'extériorisent pas avec la même intensité ; ils correspondent vraisemblablement à des génotypes différents.

Xb 384.37P a une barbe très large à la base ; la lemma paraît se prolonger au dessus du grain en se rétrécissant lentement alors que chez l'orge normale, la transition est très brusque.

Xd 233.130P est un mutant à barbes lisses. Alors que chez Piroline, la barbe porte 3 à 4 dents par mm sur les nervures marginales et médiane, cette lignée en est dépourvue ; parfois quelques dents peuvent se présenter sur certaines barbes mais leur longueur est nettement plus courte que chez la variété originale.

En résumé, les mutations modifient les caractères des barbes dans des sens très divers ; leur longueur peut être réduite quand elles sont portées par les glumelles, elle peut être allongée quand elles sont portées par les glumes ; enfin, leur constitution elle-même peut être transformée.

LE PORT DE L'ÉPI

Les mutants obtenus montrent que le port de l'épi peut être complètement changé et présenter toutes les positions entre l'épi complètement érigé — qui est, à maturité, l'apanage de types compacts — et l'épi absolument retombant.

En général, la nutation de l'épi s'accroît entre l'épiaison et la maturité ; la photo 9 a été prise le 25 Juin 1957 alors que le schéma ci-dessous se base sur des observations effectuées le 13 Juillet 1957 :

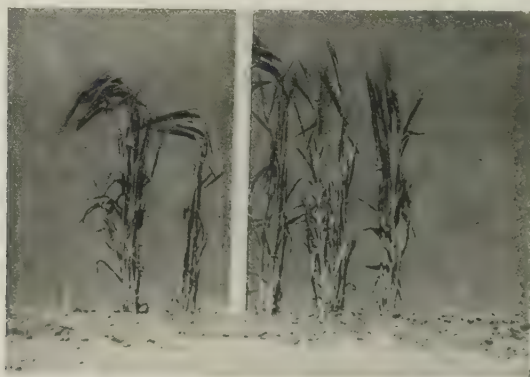
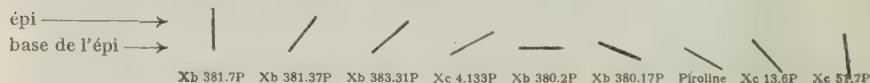
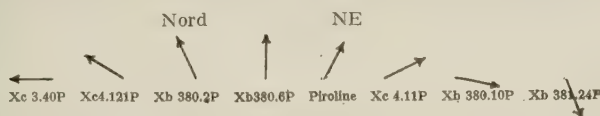


PHOTO 9. — Port de l'épi (25 Juin 1957) ; de gauche à droite : Xc 51.7P, Xc 13.6P, Piroline, Xb 380.2P, Xc 4.133P.

L'ORIENTATION DE L'ÉPI

Au cours de l'année 1957, un phénomène de modification héréditaire relatif à l'orientation de l'épi s'est manifesté chez certains mutants dont le port de l'épi n'est pas absolument vertical.

La variété Piroline oriente la presque totalité de ses épis vers un seul point cardinal ; certains de ses mutants, par contre, les disposent dans des directions très diverses exactement comme la variété Herta. Chez d'autres mutants de Piroline, l'orientation des épis est uniforme mais nettement différente de celle de la lignée originale (observations du 13 Juillet) :



Il faut remarquer que les épis ne sont jamais dirigés vers l'ouest, ce qui fait supposer que ce caractère est en relation avec la fréquence des vents.

LE DÉVELOPPEMENT

Les mutations modifient considérablement l'allure du développement chez l'orge de printemps : ces différences se manifestent déjà dès la germination mais les divers stades par lesquels passe la plante sont souvent difficiles à déterminer avec précision ; seules l'épiaison et la maturité peuvent être situées avec exactitude. Elles ont été utilisées en 1957, pour caractériser divers mutants obtenus dans Herta et Pirolina (tableaux 22, 23).

TABLEAU 22

Mutants dans Herta

Dates d'épiaison	Dates de maturité																		
	Juillet												Août						
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	1	2	3	6	9	16
3 Juin				x															
8 Juin	x	x				x													
10 Juin			x			x													
11 Juin				x			x												
12 Juin						x	x								x				
13 Juin				x		x	x												
14 Juin			x			x		x				x							
15 Juin					x	x	x												
16 Juin						x	x	x			x								
17 Juin						x	x	x					x						
18 Juin						x	x	x	x										
19 Juin						x		x	x	x									
20 Juin												x				x		x	
22 Juin															x				
25 Juin																x			
26 Juin																			x

x Herta

TABLEAU 23

Mutants dans Piroline																				
Dates d'épiaison	Dates de maturité																			
	Juillet															Août				
	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	1	4	10	22		
1 Juin	x	x																		
6 Juin			x		x															
7 Juin					x	x	x													
8 Juin				x	x	x	x				x									
9 Juin					x		x	x	x											
10 Juin							x	x	x	x	x	x								
11 Juin				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x						
12 Juin					x		x	x	x		x									
13 Juin								x	x	x										
14 Juin								x		x	x	x	x							
15 Juin								x			x	x	x	x						
16 Juin												x	x							
17 Juin											x	x	x	x						
18 Juin								x						x						
19 Juin														x	x					
21 Juin												x								
1 Juillet																		x		
2 Juillet																	x			
4 Juillet																	x			

x Piroline

⊗ Piroline

Les dates d'épiaison et de maturité indiquées aux tableaux précédents, ont été observées dans des emblavures semées le 15 Mars 1957. A chaque croix (×) peuvent correspondre un ou plusieurs mutants.

En se basant uniquement sur les deux caractères envisagés, on peut donc mettre en évidence 42 types de développement différents issus de Herta et 63 provenant de Piroline ; l'épiaison et la maturité peuvent donc être avancées ou retardées dans de larges limites. S'il y a, dans l'ensemble, une certaine liaison entre les deux phénomènes, le rapport existant entre eux n'est pas absolu ; deux exemples le démontrent aisément : chez les mutants de Herta, la maturité complète est atteinte le 23 Juillet par des lignées qui épient du 11 au 19 Juin ; d'autre part, les mutants de Piroline qui épient le 11 Juin mûrissent du 18 au 27 Juillet.

Il existe entre le développement et la croissance certaines relations qu'il importe de faire ressortir car elles fournissent des indications intéressantes pour l'amélioration de l'espèce.

Quand on considère uniquement le terme final de la croissance, c'est-à-

dire la hauteur des plantes à la maturité, on observe que divers mutants atteignent une taille plus courte ou plus haute que celle de la variété dont ils proviennent :

TABLEAU 24

Mutants dans Herta		Mutants dans Piroline	
Xc 21.32H	50 cm	Xb 383.1P	47 cm
Xb 394.4H	54 cm	Xb 394.52P	48 cm
Xc 21.4H	64 cm	Xb 380.13P	55 cm
Xc 22.18H	67 cm	Xb 383.47P	57 cm
Xc 21.18H	71 cm	Xb 381.7P	60 cm
Xa 17.3H	73 cm	Xb 383.42P	62 cm
Xa 19.1H	78 cm	Xb 380.8P	67 cm
Herta	81,64 $\pm$ 0,31 cm	Xb 381.16P	72 cm
Xc 22.2H	92 cm	Xb 381.9P	76 cm
Xa 15.1H	105 cm	Xb 380.11P	78 cm
Xa 16.1H	111 cm	Xb 380.7P	80 cm
		Xb 380.2P	82 cm
		Piroline	86,97 $\pm$ 0,30 cm
		Xb 382.11P	90 cm
		Xb 382.16P	92 cm
		Xc 13.40P	94 cm
		Xb 389.15P	98 cm
		Xb 384.44P	99 cm
		Xc 4.114P	104 cm
		Xb 383.28P	105 cm

Ces chiffres montrent que l'action des mutations est très profonde ; les modifications enregistrées forment une série continue dont l'amplitude atteint 61 cm (= 75 % du témoin) pour les mutants issus de Herta et 58 cm (= 68 % du témoin) pour les lignées provenant de Piroline.

Pour approfondir l'étude de ce phénomène, des mensurations ont été effectuées au cours de la végétation, les 22 Mai, 31 Mai, 11 Juin et 16 Juin 1957. A ces diverses dates, les hauteurs moyennes des variétés Herta et Piroline sont les suivantes :

TABLEAU 25

Date	Hauteur de Herta	Hauteur de Piroline
22 Mai	30,82 $\pm$ 0,27 cm	31,48 $\pm$ 0,20 cm
31 Mai	50,39 $\pm$ 0,31 cm	55,83 $\pm$ 0,44 cm
11 Juin	67,21 $\pm$ 0,38 cm	79,62 $\pm$ 0,24 cm
16 Juin	81,64 $\pm$ 0,31 cm	86,97 $\pm$ 0,30 cm

Ces données permettent d'aborder maintenant l'étude des relations qui peuvent exister entre la croissance et le développement.

En premier lieu, nous examinerons le cas des mutants dont les phases du développement ont la même longueur que celles du témoin.

Ces lignées peuvent atteindre à maturité des hauteurs différentes :

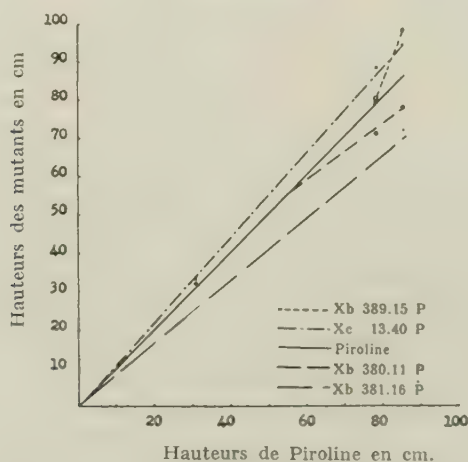
TABLEAU 26

Date	Piroline	Xb 381.16P	Xb 380.11P	Xc 13.40P	Xb 389.15P
22 Mai	31 cm	24 cm	32 cm	33 cm	32 cm
31 Mai	55 cm	40 cm	55 cm	62 cm	55 cm
11 Juin	79 cm	60 cm	71 cm	88 cm	80 cm
16 Juin	86 cm	72 cm	78 cm	94 cm	98 cm

Chez Xb 381.16P, la croissance est moindre au cours de toute la durée de la végétation.

Xb 380.11P, par contre, ne marque un retard qu'à partir du début du mois de Juin.

GRAPHIQUE 6



La hauteur de Xc 13.40P est toujours plus élevée que celle de Piroline tandis que la taille de Xb 389.15P ne devient plus grande qu'à partir du 11 Juin.

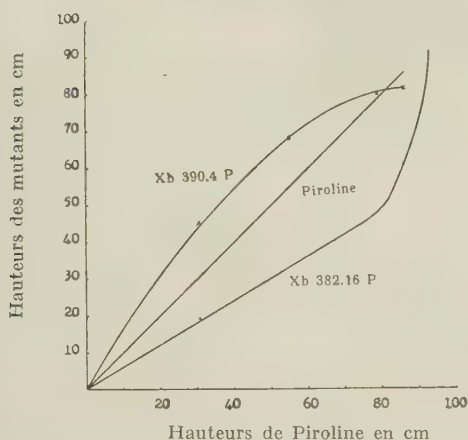
Les hauteurs de paille différentes atteintes à maturité résultent donc de vitesses de croissance plus lentes ou plus rapides mais qui peuvent varier au cours de la période végétative.

Quand on observe des mutants qui n'ont pas le même rythme de développement que la lignée originale, on voit que la croissance des types précoces est, en général, plus rapide au début de la végétation, qu'elle se ralentit ensuite et s'arrête à un niveau inférieur à celui du témoin ; par contre les types tardifs, nettement plus courts pendant une grande partie de la période végétative, rejoignent parfois et souvent dépassent en hauteur la lignée originale :

TABLEAU 27

	Piroline	Xb 390.4P	Xb 382.16P	Xb 384.44P
Date d'épiaison	8 Juin	1 Juin	19 Juin	2 Juillet
Date de maturité	21 Juillet	13 Juillet	1 Août	10 Août
Hauteur au 22 Mai	31 cm	45 cm	19 cm	23 cm
» 31 Mai	55 cm	68 cm	35 cm	34 cm
» 11 Juin	79 cm	80 cm	43 cm	50 cm
» 16 Juin	86 cm	82 cm	61 cm	58 cm
» à maturité	86 cm	82 cm	92 cm	99 cm

GRAPHIQUE 7



Xb 390.4P est le mutant le plus précoce obtenu jusque maintenant dans nos expériences mais à ce caractère intéressant, il associe d'autres particularités nettement défavorables : dans les essais de rendement de 1956, sa productivité n'a atteint que $81,61 \pm 2,62\%$ de celle du témoin et sa résistance à la verse fut nettement inférieure à celle de Piroline.

Xb 382.16P possède exactement le rythme de développement et de croissance d'une orge d'hiver du type « Lignée 456 de Gembloux » ou « Manon »

alors qu'en réalité, ce mutant est un déficient chlorophyllien dont la base des feuilles demeure jaune jusqu'au stade de la montée en tige.

Xb 384.44P, par contre, n'est pas un mutant chlorophyllien mais un type absolument normal en ce qui concerne la présence de chlorophylle ; son développement en fait un type à « caractère hiver » plus accentué que les orges d'hiver cultivées en Belgique. En 1957, le tallage et le rendement de cette lignée, par rapport à la parcelle témoin adjacente, sont les suivants :

	Piroline	Xb 384.44P
Épis par mètre carré :	479	422
Rendement en kg/ha	3.663 kg/ha	2.527 kg/ha
Poids de 1.000 grains :	44,44 gr	34,96 gr

Ces chiffres révèlent une chute marquée de la faculté de tallage, de la grosseur des grains et du rendement.

Les exemples qui viennent d'être décrits caractérisent les types les plus fréquents mais on observe également d'autres comportements en ce qui concerne la croissance et le développement.

Certains mutants tardifs peuvent être plus courts que la lignée originale en fin de végétation :

TABLEAU 28

	Piroline	Xb 388.5P	Xb 382.29P	Xb 384.54P
Date d'épiaison	8 Juin	17 Juin	16 Juin	15 Juin
Date de maturité	21 Juillet	28 Juillet	4 Août	28 Juillet
Hauteur au 22 Mai	31 cm	18 cm	21 cm	25 cm
„ 31 Mai	55 cm	22 cm	31 cm	46 cm
„ 11 Juin	79 cm	34 cm	53 cm	69 cm
„ 16 Juin	86 cm	57 cm	67 cm	83 cm
„ à maturité	86 cm	57 cm	67 cm	83 cm

Xb 388.5P demeure beaucoup plus court que Piroline pendant toute la durée de la végétation ; il en est de même pour Xb 382.29P qui est identique à un type d'orge d'hiver ; quant à Xb 384.54P, il croît moins vite au début de la période végétative mais plus tard il rejoint presque le témoin sans le dépasser toutefois comme Xb 382.16P ou Xb 384.44P (tableau 27).

Le comportement de certains mutants plus précoces diffère également du type général figurant au tableau 27.

Xb 383.51P épie à la même date que la lignée originale mais mûrit 3

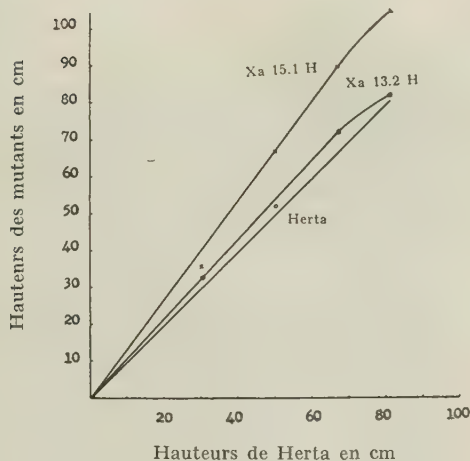
jours plus tôt que celle-ci ; pendant toute la durée de la végétation, il croît à la même allure que Piroline.

Des mutants plus précoces induits dans Herta atteignent ou dépassent la hauteur de cette variété :

TABLEAU 29

	Herta	Xa 13.2H	Xa 15.1H
Date d'épiaison	14 Juin	8 Juin	13 Juin
Date de maturité	23 Juillet	18 Juillet	20 Juillet
Hauteur au 22 Mai	30 cm	33 cm	36 cm
» 31 Mai	50 cm	52 cm	67 cm
» 11 Juin	67 cm	78 cm	90 cm
» 16 Juin	81 cm	82 cm	105 cm
» à maturité	81 cm	82 cm	105 cm

GRAPHIQUE 8



L'étude de la croissance et du développement chez les mutants prouve que les mutations peuvent modifier profondément ces phénomènes qui possèdent une importance fondamentale ; elle ouvre des horizons nouveaux sur une question qui a toujours été considérée comme étant très complexe car on s'aperçoit qu'une mutation simple — et probablement génique dans de nombreux cas — peut exercer une action modificatrice extrêmement nette. Le développement et la croissance ne sont donc pas la résultante d'un ensemble de gènes à actions individuelles de peu d'ampleur.

LA RÉSISTANCE À LA VERSE

La résistance à la verse est un caractère cultural de grande importance ; l'orge de printemps est certainement la céréale dont la paille est la moins rigide. Sans être vraiment sensible, Piroline n'atteint pas le palier de résistance le plus élevé et Herta lui est généralement supérieure à ce point de vue. Cette particularité ne peut s'observer chaque année ; en 1957 notamment, aucune verse n'apparut chez les variétés originales. Dans ces conditions, les mutants qui ont versé peuvent être considérés comme très sensibles ; cette caractéristique est cotée suivant une échelle de points qui va de 10 pour une absence totale de verse à 0 pour une verse complète :

TABLEAU 30

Lignée	Résistance à la verse
Piroline	10
Xb 390.4P	8
Xb 383.51P	6
Xb 383.53P	4
Xb 383.28P	2

En 1956, une verse d'intensité moyenne fut observée ; Piroline obtint la cote 7 et les mutants issus de cette variété qui figurèrent dans les essais de rendement atteignirent les degrés de résistance ci-après :

TABLEAU 31

Résistance à la verse des mutants dont la productivité est identique à celle de Piroline	Résistance à la verse des mutants dont la productivité est inférieure à celle de Piroline
3,2	4,7
	5,0
	5,2
	5,5
	5,6
5,7	5,7
6,0	
	6,4
6,5	6,5
6,6	6,6
6,7	6,7
7,0	7,0
	7,8
8,0	8,0
8,2	
8,4	
	9,0

La pratique montre qu'une différence supérieure à 0,5 unité est significative.

La gamme de mutations de résistance à la verse s'étend dans un sens négatif et dans un sens positif aussi bien pour les mutants dont la productivité est identique à celle de Piroline que pour ceux dont la capacité de rendement est significativement inférieure.

Dans la première série, la cote 8,4 est obtenue par un type à épi compact, les cotes 8,2 et 8,0 par des mutants dont la densité de l'épi n'est pas modifiée.

Dans la seconde série, le rendement du mutant le plus rigide n'atteint que $83,90 \pm 2,65\%$ de celui de Piroline.

LA RÉSISTANCE AUX MALADIES

Les manifestations pathologiques sont très diverses chez les mutants ; actuellement, il est parfois impossible d'affirmer que les symptômes observés proviennent d'un trouble physiologique ou d'une infection parasitaire déterminée.



PHOTO 10 : A gauche : Piroline ; au milieu : Xb 383.51P ; à droite :
Xb 384.38P.

Les nécroses des extrémités des feuilles sont fréquentes ; chez des mutants de Kenia (RX 1145K), de Herta (Xc29.7H) et de Piroline (Xb381.36P, Xb 382.42P), elles affectent uniquement la première feuille qui se développe tandis que chez Xb 382.47P, elles atteignent la feuille terminale et les barbes qui se fanent.

Xb 383.51P est complètement maculé de taches brunes de forme ovale à centre souvent décoloré qui se forment sur les feuilles, les tiges et ultérieurement sur les épis ; la résistance à la verse de cette lignée est très faible.

Divers cas de sensibilité à *Helminthosporium teres* ont été observés ; ils se caractérisent par la présence de taches brun-violet qui sont apparues sur un mutant de Kenia : RX 1144K et un mutant de Pirolina : Xb 384.38P.

Un mutant éligulé de Pirolina : Xb 383.28P est atteint par un piétin qui occasionne régulièrement la verse quelles que soient les conditions climatiques.

Au champ, deux mutants apparaissent plus sensibles à l'oïdium (*Erysibe graminis*) ; ce sont : Xb 401.5H mutant éligulé de Herta et Xb 384.3P mutant tardif de Pirolina ; par contre, dans les mêmes conditions, Xb 381.244 P est plus résistant à cette maladie.

Un biotype d'*Erysibe graminis* prélevé à Gembloux par la Station de Phytopathologie et isolé par culture monospore, a été utilisé pour des infections artificielles effectuées en serre en 1956-1957 à la température moyenne de 15°C. Cette race physiologique d'oïdium parasite les variétés Pirolina et Herta mais n'infecte pas les orges dont la résistance dérive de H 204 *Hordeum spontaneum nigrum*.

Durant l'hiver 1956-1957, 4.559 descendances d'épis X2 comprenant environ 80.000 plantes X3 provenant de la variété Pirolina, ont été testées ; pas une seule ne s'est révélée immune à ce biotype d'oïdium. Ce résultat ne cadre pas avec ceux de HÄNSEL et ZAKOVSKY (7) qui publient avoir induit des mutants résistants à l'oïdium à une fréquence plus élevée que les mutants chlorophylliens. Dans notre matériel, au contraire, les mutations de résistance à cette maladie sont très rares.

La sensibilité à la rouille naine (*Puccinia simplex*) est un des principaux défauts de Pirolina ; parmi les mutants, certains sont encore plus sensibles à cette maladie ; c'est le cas pour Xb 382.17P tandis que d'autres sont plus résistants tels Xb 383.48 P et surtout Xb 381.244P. Ce dernier possède une résistance générale aux maladies plus élevée puisqu'en plein champ, il est également moins parasité par l'oïdium.

Une lignée plus sensible à la rouille naine est aussi apparue parmi les mutants issus de Herta : il s'agit de Xa 16.111 qui se couvre pendant la végétation de nombreuses urédospores.

Un autre mutant de Herta : Xa 16.411 représente un cas curieux. Après la montée en tige, la totalité du feuillage de cette lignée se macule en brun-rouge comme s'il s'agissait d'une attaque violente de rouille naine ; or, au cours d'observations qui portent sur 5 années consécutives, aucune urédospore n'est jamais apparue sur cette lignée. Il ne nous est donc pas possible de dire si ce phénomène est dû à une hypersensibilité ou à une carence.

Si chez les mutants induits, de nombreux cas de sensibilité aux maladies ont été observés, il est néanmoins apparu quelques lignées plus résistantes qui sont susceptibles de présenter un intérêt pour l'amélioration.

LA RÉSISTANCE AUX INSECTES

Chez un mutant de Piroline : Xb 383.23P, les glumelles (sauf les nervures), le rachillet du grain et le rachis de l'épi sont dépourvus de chlorophylle ; le reste de la plante est normalement vert. La croissance de cette lignée est plus lente que celle de Piroline et, en fin de végétation, elle est 5 cm plus courte que la variété originale ; sa capacité de production est nettement réduite ($78,50 \pm 1,93\%$ du témoin dans les essais de 1956). Attirée vraisemblablement par la coloration blanche de l'épi, l'*Oscinis frit* parasite fortement cette orge lorsque celle-ci est semée tardivement ; en semis hâtif (début à mi-mars), le parasitisme est très réduit.



PHOTO 11. — Xb 383.23P en haut : grains normaux, en bas : grains parasités.

En 1956, dans des parcelles provenant de semis exécuté le 30 Avril, des comptages ont été effectués sur 100 épis prélevés :

- a) sur le mutant Xb 383.23P,
- b) sur le témoin Piroline situé entre deux parcelles du mutant,
- c) sur le témoin Piroline situé à 20 mètres du mutant :

TABLEAU 32

	Nombre moyen de grains par épi	Nombre moyen de grains parasités par épi	Taux de grains parasités
Mutant Xb 383.23P	23,82	7,71	32,36 %
Piroline voisine	23,67	0,74	3,16 %
Piroline éloignée	23,25	0,08	0,34 %

Ce mutant est donc cent fois plus sensible à *P. oscinis* que Piroline et son voisinage immédiat fait monter de façon notable le taux de grains parasités dans les parcelles voisines.

Ce mutant ne présente assurément aucun intérêt pratique mais il constitue un résultat absolument inattendu de la mutagenèse.

LES FACTEURS DE LA PRODUCTIVITÉ

La productivité est une propriété génétique héréditaire ; elle met en jeu des phénomènes physiologiques complexes qui sont fortement influencés par les conditions de milieu.

Au stade final, le rendement en grains résulte de la valeur atteinte par les trois facteurs : tallage, nombre de grains par épi, poids unitaire du grain. Ces caractères sont très fluctuants et leur valeur moyenne ne peut être établie que par des essais dressés selon un plan correct et analysés statistiquement. Les chiffres figurant aux tableaux 33 à 38 ont été obtenus dans des essais exécutés selon la méthode des blocs et comprenant un minimum de quatre parcelles par lignée.

LE TALLAGE

Le tallage est une propriété que possèdent toutes les variétés botaniques découvertes dans les centres d'origine ; or, par mutation, il est possible de le faire disparaître complètement : un mutant issu de Herta (Xa 16.111) ne développe qu'une seule tige. Ce type contraste fortement avec la lignée originale qui, semée à la même densité (20 cm entre les plantes), produit une douzaine de tiges par plante (photo 12).

Chez l'orge, le tallage d'une variété peut varier considérablement suivant

la densité du peuplement et les conditions de milieu. Un semis d'orge de printemps réalisé à la densité normale de 300 grains par mètre carré donne, en moyenne, 75 à 80 % de plantes mûres soit 225 à 240 plantes par mètre carré. Celles-ci développent, en moyenne, 400 à 700 épis par mètre carré soit 1,6 à 2,9 épis par plante. La grande différence entre ces chiffres et ceux qui sont observés pour des plantes végétant de façon isolée montre le degré de restriction de cette faculté résultant de la compétition des plantes entre elles.

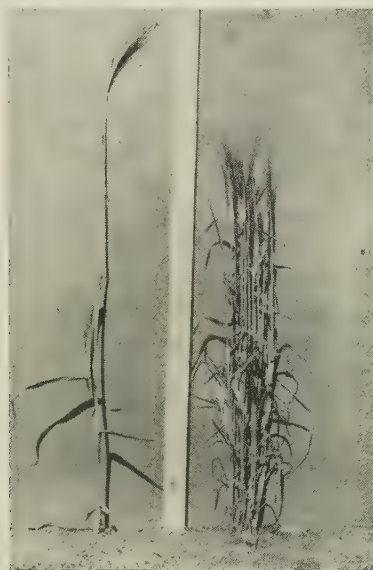


PHOTO 12. — A gauche : Xa 16.1H ; à droite : Herta.

Dans les essais de 1956 et de 1957, nous avons calculé le tallage — en épis par mètre carré — des divers mutants analysés ; les lignées qui sont significativement différentes du témoin à ce point de vue, figurent au tableau 33.

Ces chiffres montrent que le tallage peut être diminué ou accru de façon significative, à des degrés divers ; en dessous d'un certain niveau, la diminution du tallage correspond souvent à une chute de la productivité.

LE NOMBRE DE GRAINS PAR ÉPI

Le nombre de grains par épi peut subir de profondes modifications héréditaires. Dans notre matériel, la limite inférieure est atteinte par un mutant de Piroliné : Xb 386.232P dont le rachis extrêmement court ne porte que 3 ou 4 grains par épi. Dans le sens opposé, l'écart avec la lignée originale

TABLEAU 33

Année 1956	Lignée	Nombre d'épis par mètre carré
Essai 1	Xb 382.204P	474 $\pm$ 18 (*)
	Xb 380.80P	551 $\pm$ 18
	Xb 382.62P	557 $\pm$ 18
	Piroline	614 $\pm$ 18
Essai 2	Xb 383.274P	447 $\pm$ 22 (*)
	Xb 384.38P	516 $\pm$ 22 (*)
	Xb 382.390P	554 $\pm$ 22 (*)
	Piroline	596 $\pm$ 22
	Xb 383.122P	654 $\pm$ 22
	Xb 384.31P	666 $\pm$ 22
	Xb 384.143P	683 $\pm$ 22
Essai 3	Xb 387.110P	372 $\pm$ 17 (*)
	Xb 390.570P	485 $\pm$ 17 (*)
	Xb 390.762P	512 $\pm$ 17 (*)
	Xb 389.440P	525 $\pm$ 17 (*)
	Xb 390.420P	526 $\pm$ 17 (*)
	Xb 389.197P	542 $\pm$ 17 (*)
	Piroline	591 $\pm$ 17
	Xb 390.348P	647 $\pm$ 17
Essai 4	Xb 395.10H	509 $\pm$ 21 (*)
	Xb 395.88H	578 $\pm$ 21 (*)
	Xb 395.7H	601 $\pm$ 21
	Herta	672 $\pm$ 21

Année 1957	Lignée	Nombre d'épis par mètre carré
Essai 1	Xb 387.44P	427 $\pm$ 9
	Piroline	455 $\pm$ 9
	Xb 384.143P	492 $\pm$ 9
	Xb 381.244P	525 $\pm$ 9
Essai 2	Xb 382.26P	340 $\pm$ 16 (*)
	Xb 381.30P	406 $\pm$ 16 (*)
	Xc 51.7P	428 $\pm$ 16 (*)
	Xb 387.2P	430 $\pm$ 16
	Piroline	476 $\pm$ 16
	Xb 384.4P	520 $\pm$ 16
	Xb 382.3P	521 $\pm$ 16 (*)
Essai 3	Herta	494 $\pm$ 16
	Xb 394.4H	935 $\pm$ 16 (*)

(*) Mutant à productivité significativement inférieure à celle du témoin correspondant.

est beaucoup moins large ; le maximum d'augmentation est présenté par un mutant de Piroline (Xb 383.28P.) qui développe $26,87 \pm 0,50$ grains par épi alors que le témoin n'en forme que $23,80 \pm 0,40$ (Année 1957).

Les résultats significativement différents, recueillis dans les essais de rendement de 1956 et de 1957 ont été réunis dans le tableau 34.

TABLEAU 34

Année 1956	Lignée	Nombre moyen de grains par épi
Essai 1	Xb 382.179P	$15,01 \pm 0,42$ (*)
	Piroline	$17,31 \pm 0,42$
	Xb 381.483P	$18,64 \pm 0,42$
	Xb 382.204P	$18,66 \pm 0,42$ (*)
	Xb 382.62P	$18,71 \pm 0,42$
Essai 2	Xb 383.369P	$16,18 \pm 0,54$ (*)
	Xb 384.38P	$16,41 \pm 0,54$ (*)
	Piroline	$18,17 \pm 0,54$
Essai 3	Xb 390.420P	$13,58 \pm 0,52$ (*)
	Piroline	$16,55 \pm 0,52$
	Xb 387.288P	$18,22 \pm 0,52$
Essai 4	Xb 395.88H	$14,40 \pm 0,38$ (*)
	Xb 395.22H	$15,85 \pm 0,38$ (*)
	Xb 394.62H	$16,07 \pm 0,38$ (*)
	Xb 401.496H	$17,61 \pm 0,38$ (*)
	Herta	$18,74 \pm 0,38$

Année 1957	Lignée	Nombre moyen de grains par épi
Essai 1	Xb 381.244P	$16,47 \pm 0,36$
	Piroline	$17,61 \pm 0,36$
	Xb 387.288P	$18,96 \pm 0,36$
Essai 2	Xb 382.3P	$15,78 \pm 0,46$ (*)
	Xc 50.2P	$16,34 \pm 0,46$ (*)
	Xb 384.58P	$17,06 \pm 0,46$
	Piroline	$18,61 \pm 0,46$
	Xb 381.10P	$19,89 \pm 0,46$
Essai 3	Xb 394.4H	$12,31 \pm 0,34$ (*)
	Xa 13.3H	$15,92 \pm 0,34$
	Herta	$18,36 \pm 0,34$
	Xc 22.5H	$19,49 \pm 0,34$ (*)

(*) Mutant à productivité significativement inférieure à celle du témoin correspondant.

Les chiffres ci-dessus indiquent que les mutations à action positive existent pour ce caractère mais que leur fréquence et l'écart qu'elles produisent par rapport à la lignée originale sont nettement inférieurs à ceux des mutations à action négative.

LE POIDS DU GRAIN

Les mutants peuvent former un grain plus léger, identique ou plus lourd que la variété dont ils proviennent. Dans les essais de rendement de 1956 et 1957, des poids de 1.000 grains très différents ont été observés (seules les données significativement différentes ont été indiquées) :

TABLEAU 35

Année 1956	Lignée	Poids de 1000 grains en grammes
Essai 1	Xb 380.44P	28,03 $\pm$ 0,88 (*)
	Xb 381.483P	29,41 $\pm$ 0,88
	Xb 382.19P	30,76 $\pm$ 0,88 (*)
	Xb 382.200P	30,95 $\pm$ 0,88 (*)
	Xb 381.361P	31,47 $\pm$ 0,88 (*)
	Piroline	33,98 $\pm$ 0,88
Essai 2	Xb 383.23P	24,87 $\pm$ 0,71 (*)
	Xb 383.274P	29,09 $\pm$ 0,71 (*)
	Xb 383.64P	29,11 $\pm$ 0,71 (*)
	Xb 384.38P	29,32 $\pm$ 0,71 (*)
	Xb 384.31P	30,44 $\pm$ 0,71
	Xb 383.138P	30,86 $\pm$ 0,71
	Xb 383.122P	31,20 $\pm$ 0,71
	Xb 383.288P	31,29 $\pm$ 0,71 (*)
Essai 3	Piroline	33,58 $\pm$ 0,71
	Xb 390.762P	31,94 $\pm$ 0,89 (*)
	Xb 387.288P	32,01 $\pm$ 0,89 (*)
	Piroline	34,67 $\pm$ 0,89
	Xb 388.291P	37,14 $\pm$ 0,89
Essai 4	Xb 390.420P	38,16 $\pm$ 0,89 (*)
	Xb 394.62H	25,62 $\pm$ 0,47 (*)
	Herta	29,17 $\pm$ 0,47
	Xb 395.88H	36,36 $\pm$ 0,47 (*)

(*) Mutant à productivité significativement inférieure à celle du témoin correspondant.

Année 1957	Lignée	Poids de 1000 grains en grammes
Essai 1	Xb 387.288P	42,14 $\pm$ 0,45
	Xb 381.244P	42,84 $\pm$ 0,45
	Xb 382.62P	44,44 $\pm$ 0,45
	Piroline	46,13 $\pm$ 0,45
Essai 2	Xb 384.56P	38,16 $\pm$ 1,09 (*)
	Xb 383.26P	39,48 $\pm$ 1,09 (*)
	Piroline	44,74 $\pm$ 1,09
	Xb 384.50P	48,48 $\pm$ 1,09
Essai 3	Xb 394.4H	24,40 $\pm$ 1,80 (*)
	Xc 22.5H	35,77 $\pm$ 1,80 (*)
	Xb 394.6H	37,03 $\pm$ 1,80 (*)
	Herta	42,73 $\pm$ 1,80
	Xa 13.3H	48,48 $\pm$ 1,80

Les mutations diminuent donc fréquemment le poids unitaire du grain et l'accroissent plus rarement mais elles peuvent aussi modifier sa forme et sa constitution (photo 13) :

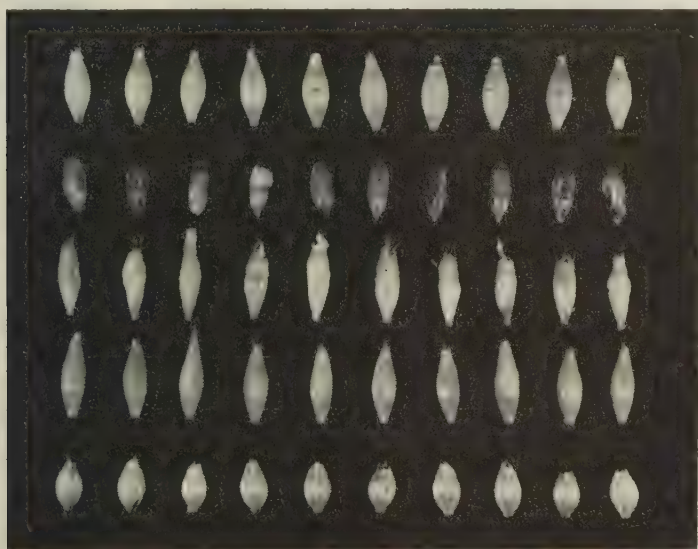


PHOTO 13. — Forme et constitution du grain.
de haut en bas : Piroline, Xc 4.114P, Xb 384.37P, Xb 381.17P, Xb 382.5P.

(*) Mutant à productivité significativement inférieure à celle du témoin correspondant.

Xc 4.114P a les glumelles peu adhérentes ; elles sont partiellement enlevées par le battage à l'issue duquel le caryopse ne conserve que quelques fragments de balles ; le grain est donc presque complètement nu.

Xb 384.37P a un grain nettement plus allongé, plus étroit et moins rempli que la variété Piroliné.

Xb 381.17P est également plus allongé et plus rétréci mais il est un peu plus rempli que le type précédent.

Xb 382.5P possède un grain très court et arrondi ; ce phénotype mutant est apparu plusieurs fois au cours de nos expériences.

LE RENDEMENT EN GRAINS

Le rendement en grains provient de l'action combinée des trois facteurs qui viennent d'être passés en revue.

Au cours des années 1956 et 1957, 69 mutants ont figuré dans les essais comparatifs ; leurs rendements s'établissent aux niveaux suivants :

Rendement	
60 à 69 % du témoin :	4 mutants
70 à 79 % du témoin :	5 mutants
80 à 89% du témoin :	20 mutants
plus de 90 % mais < témoin :	8 mutants
productivité = témoin	32 mutants

Parmi ces 32 mutants, 3 donnèrent en 1956 par rapport à Piroliné, un supplément de rendement qui n'était pas statistiquement significatif et qui ne fut pas confirmé au cours des essais de 1957. Durant cette dernière année, un autre mutant dépassa aussi la lignée originale mais la différence enregistrée n'atteignit pas non plus un écart significatif :

TABLEAU 36

Mutant	Rendement en % du témoin	
	Année 1956	Année 1957
Xb 381.244P	106,44 $\pm$ 2,65 %	100,32 $\pm$ 2,32 %
Xb 387.44P	106,90 $\pm$ 2,62 %	96,81 $\pm$ 2,32 %
Xb 390.348P	107,73 $\pm$ 2,62 %	101,29 $\pm$ 2,32 %
Xb 384.50P	—	105,66 $\pm$ 2,79 %

Ces diverses lignées seront à nouveau analysées dans des essais de rendement établis ultérieurement avec un nombre plus élevé de répétitions. Actuellement, on ne peut donc affirmer qu'un mutant de productivité supérieure ait été mis en évidence dans nos recherches.

Dans la dépression du rendement provoquée par les mutations, les divers facteurs ne jouent pas un rôle équivalent :

TABLEAU 37

Classe de rendement	Moyenne de rendement	Tallage moyen	Nombre moyen de grains par épi	Poids moyen des grains
60 à 69 %	65,58 %	73,98 %	98,08 %	90,73 %
70 à 79 %	76,81 %	90,33 %	97,22 %	89,28 %
80 à 89 %	85,15 %	93,19 %	96,31 %	95,63 %

En général, c'est le tallage qui exerce l'action la plus importante ; le poids du grain vient en second lieu ; le nombre de grains par épi joue un rôle plus minime.

Ces indications ne sont que des valeurs moyennes et on peut, par exemple, observer des mutants dont le tallage est nettement plus élevé que celui du témoin mais qui possèdent une productivité inférieure. Le cas extrême est celui de Xb 394.4H :

Rendement	Tallage	Nombre de grains/épi	Poids des grains
72,64 %	189,27 %	67,04 %	57,10 %

L'analyse des mutants dont la productivité est égale à celle du témoin, permet de faire apparaître d'autres phénomènes :

TABLEAU 38

Lignée	Moyenne de rendement	Tallage moyen	Nombre moyen de grains par épi	Poids moyen des grains
Xb 382.62P	100,13 %	90,71 %	101,03 %	109,23 %
Xb 380.378P	100,96 %	95,43 %	106,64 %	99,14 %
Piroline	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
Xb 383.138P	101,38 %	106,37 %	102,86 %	91,89 %
Xb 384.143P	101,65 %	114,59 %	95,50 %	92,80 %

Dans ces divers cas, la modification d'un facteur de la productivité peut entraîner des compensations au niveau des deux autres facteurs.

Lorsque le tallage est réduit, la compensation peut résulter d'une augmentation du nombre de grains par épi ou d'un accroissement du poids des grains.

Lorsque le tallage est accru, une diminution nette du poids des grains

est observée qui est accompagnée parfois d'une diminution du nombre de grains par épi.

Ces chiffres montrent que, chez les mutants, des rendements identiques peuvent résulter de structures absolument différentes.

Cette étude du spectre des mutations induites chez l'orge révèle la grande richesse de la variabilité génétique provoquée par les rayons X.

Cet inventaire n'est pas définitif puisque chaque cycle végétatif nouveau fait apparaître de nouveaux mutants et que l'observation continue et plus détaillée des lignées déjà obtenues permettra sans aucun doute de découvrir un nombre plus élevé de mutations à effets phénotypiques réduits.

Pour la plupart des caractères observés, les mutants constituent une gamme de types qui s'étend dans un sens positif et dans un sens négatif à partir de la forme normale ; l'ampleur des modifications varie selon les caractères mais, dans la majorité des cas, l'écart produit par les mutants moins intéressants est plus large que celui présenté par les mutants de valeur.

Nos observations permettent donc d'affirmer que toutes les propriétés que la plante présente, depuis la germination jusqu'à la maturité, peuvent être modifiées par mutation et que des caractères qui n'ont pas été trouvés dans les centres d'origine peuvent être induits par les rayons X.

CHAPITRE III

LE RÔLE DE LA MUTAGÉNÈSE DANS L'AMÉLIORATION DE L'ORGE

La pleiotropie chez les mutants

Les résultats décrits au chapitre précédent montrent que les mutations sont capables de modifier, dans un sens positif, la plupart des caractères qui sont susceptibles d'amélioration et qui constituent des objectifs de sélection. Cependant, contrairement à ce qu'on pourrait déduire de cette observation, ce fait ne prouve pas que la mutagénèse soit une méthode de travail très facile pour l'amélioration de l'espèce. En effet, le problème se complique à cause de l'action pleiotropique de nombreux gènes ; une seule mutation modifiant un de ces gènes peut influencer simultanément plusieurs caractères. Ce phénomène est assez fréquent et l'examen des mutants induits chez l'orge, permet de l'analyser avec précision car la plupart des mutations qui ne sont pas chromosomiques ou génomiques sont monogéniques.

LES MUTANTS ÉLIGULÉS

Un cas très prononcé de pleiotropie est présenté par les mutants éligulés. La ligule est, chez l'orge, un caractère taxonomique important parce que toutes les variétés récoltées dans les centres d'origine sont pourvues de cet organe. Lorsqu'en 1937, LUTKOV (8) induisit, au moyen des rayons X, le premier mutant éligulé, il insista sur le caractère original de cette mutation qui constituait la preuve qu'un caractère inconnu pouvait apparaître à la suite d'irradiation. Au cours de nos recherches, nous avons obtenu trois mutants éligulés très différents :

Xb 383.1P a le port plus érigé et la coloration plus foncée que la race Piroline dont il provient ; il épie 6 à 10 jours plus tard mais mûrit 0 à 2 jours plus tard que cette variété car sa phase : épiaison — maturité est plus courte. Chez ce mutant, l'épi est très court, compact et en massue ; la plante n'atteint que 47 cm de hauteur contre 86 cm chez le témoin ; la feuille est nettement différenciée de la gaine et les stipules sont normales.



PHOTO 14. — De gauche à droite : Xb 383.1P ; Xb 401.5H ; Xb 383.28P.

Xb 401.5H est absolument différent du type précédent ; il présente avant l'épiaison l'aspect d'une plante d'*Allium cepa* à cause de ses feuilles enroulées ; il est très érigé et de teinte vert très foncé ; il épie et mûrit à la même date que Herta dont il est issu ; l'épi est un peu plus petit que chez

cette race et la plante est légèrement plus haute que la variété originale. Ce mutant est caractérisé par l'absence de ligule mais ses stipules sont curieusement transformées : la gaine et la feuille se confondent en un seul organe appliqué contre la tige et, à l'endroit où se développent normalement les stipules, le bord de la feuille est garni d'une membrane dentelée dépourvue de chlorophylle et qui a environ 1 mm de large sur 15 mm de long. Parfois les stipules inférieures ont un aspect plus normal. Cette lignée est plus sensible à l'oidium que Herta.

Xb 383.28P est un second mutant éligulé de Piroline dont le port n'est pas plus érigé et le feuillage pas plus coloré que chez la variété originale. Dès le début de la végétation, son rythme de croissance est plus rapide que celui du témoin et il atteint finalement 105 cm contre 86 cm pour celui-ci. Sa paille est très peu résistante à la verse. Chez ce mutant, l'épi est nettement plus long et le grain plus gros que chez la race originale ; les feuilles sont très grandes mais leur aspect est normal.

L'examen de ces trois mutants montre qu'ils présentent tous trois le caractère éligulé mais que celui-ci provient de trois mutations distinctes qui ont des effets pleiotropiques profondément différents.

LES MUTANTS À ÉPIS COMPACTS

Un cas de pleiotropie signalé par divers chercheurs est celui des mutants à épis compacts qui possèdent une résistance à la verse accrue, mais nos observations montrent que la mutation ne limite pas ses effets à ces deux caractères et qu'elle peut aussi changer la hauteur de la paille ainsi que d'autres propriétés (tableau 39) :

TABLEAU 39

Mutant	Hauteur de paille en cm	Longueur d'un article du rachis en mm	Coloration des feuilles	Dates		Port épi (13/7)
				d'épi- aison	de ma- tuté	
Xb 384.52P	48	2,025 $\pm$ 0,024	7,5	12/6	21/7	
Xc 3.41P	65	2,080 $\pm$ 0,023	8,0	14/6	25/7	
Xb 382.3P	79	2,346 $\pm$ 0,016	6,0	9/6	21/7	/
Xb 380.6P	82	2,346 $\pm$ 0,027	7,0	6/6	19/7	/
Xc 43.10P	86	2,460 $\pm$ 0,027	6,0	10/6	23/7	/
Piroline	86,97 $\pm$ 0,30	3,073 $\pm$ 0,030	6,0	8/6	21/7	—

La coloration des feuilles à la montée en tige, la précocité d'épiaison et de maturité, le port de l'épi, peuvent être intégrés dans le complexe des caractères affectés par une seule mutation.

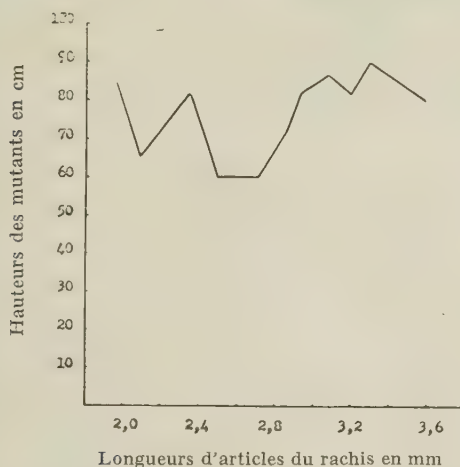
Chez les types à épis compacts, la paille est souvent plus courte que celle du type normal mais la diminution de hauteur de paille enregistrée n'est cependant pas proportionnelle à l'accroissement de la densité de l'épi ; ainsi les mutants indiqués au tableau 21 ont atteint en 1957 les hauteurs de paille suivantes :

TABLEAU 40

Lignée	Hauteur de paille	Lignée	Hauteur de paille
Xb 387.288P	85 cm	Xb 390.348P	82 cm
Xc 3.41P	65 cm	Xb 383.122P	85 cm
Xb 380.6P	82 cm	Piroline	$86,97 \pm 0,30$ cm
Xb 381.7P	60 cm	Xb 380.372P	82 cm
Xb 382.5P	60 cm	Xb 389.440P	90 cm
Xb 381.244P	72 cm	Xb 382.390P	80 cm

Ces chiffres démontrent que les effets de la mutation ne sont pas parallèles sur la compacité de l'épi et la longueur de la paille (voir graphique 9).

GRAPHIQUE 9



La productivité des mutants compacts n'est pas toujours identiques à celle de la lignée dont ils proviennent ; elle peut également être modifiée :

TABLEAU 41

Année de l'essai	Lignée	Densité de l'épi	Rendement	
			en kg/ha	en %
1954	Kenia	2,884 $\pm$ 0,038	4.932 $\pm$ 92	100,00 $\pm$ 1,85
	RX 55.2K	2,203 $\pm$ 0,021	4.917 $\pm$ 92	99,69 $\pm$ 1,85
1956	Piroline	2,823 $\pm$ 0,015	3.388 $\pm$ 89	100,00 $\pm$ 2,62
	Xb 387.288P	1,721 $\pm$ 0,015	3.460 $\pm$ 89	102,12 $\pm$ 2,62
1956	Herta	2,612 $\pm$ 0,018	3.686 $\pm$ 96	100,00 $\pm$ 2,60
	Xb 394.62H	2,218 $\pm$ 0,010	2.798 $\pm$ 96	75,90 $\pm$ 2,60
1957	Piroline	3,073 $\pm$ 0,030	3.970 $\pm$ 111	100,00 $\pm$ 2,79
	Xb 382.3P	2,346 $\pm$ 0,016	3.447 $\pm$ 111	86,82 $\pm$ 2,79

Lorsque l'accroissement de la compacité de l'épi s'accompagne d'une diminution de la capacité de production, le mutant ne possède aucun intérêt pratique puisqu'il est impossible de dissocier ces deux caractères quand ils sont dus à la pleiotropie d'un même gène.

Les quelques exemples décrits montrent bien que les mutations érectoïdes sont généralement pleiotropiques mais elles n'agissent pas toujours sur les mêmes caractères et les divers caractères modifiés ne sont pas toujours influencés dans des sens identiques chez les divers mutants.

LES AUTRES MUTANTS MORPHOLOGIQUES

Divers mutants morphologiques qui ont été analysés dans les essais de rendement ont une productivité nettement inférieure à celle de la lignée dont ils sont issus :

TABLEAU 42

Année de l'essai	Lignée	Caractères des mutants	Rendement	
			en kg/ha	en %
1954	Kenia		4.932 $\pm$ 92	100,00 $\pm$ 1,85
	RX 12.14K	barbes courtes	4.061 $\pm$ 92	81,52 $\pm$ 1,85
	RX 109.13K	barbes courtes	3.271 $\pm$ 92	66,32 $\pm$ 1,85
	RX 56.13K	glumes larges	3.580 $\pm$ 92	72,58 $\pm$ 1,85
1956	Piroline		3.620 $\pm$ 70	100,00 $\pm$ 1,93
	Xb 382.390P	épi lâche	3.127 $\pm$ 70	86,38 $\pm$ 1,93
1956	Piroline		3.388 $\pm$ 90	100,00 $\pm$ 2,65
	Xb 389.197P	barbes ondulées	3.030 $\pm$ 90	89,43 $\pm$ 2,65
	Xb 389.440P	épilletts supplémentaires	2.766 $\pm$ 90	81,64 $\pm$ 2,65
1957	Herta		3.871 $\pm$ 96	100,00 $\pm$ 2,47
	Xc 22.5H	glumes larges, barbes courtes	3.317 $\pm$ 96	85,68 $\pm$ 2,47

La modification du caractère morphologique n'est donc, en ce cas, qu'une des manifestations de la mutation génique qui provoque aussi des troubles profonds du métabolisme ; si on limitait les observations à l'aspect extérieur de la plante, on pourrait croire qu'un seul caractère est muté alors que la détermination du rendement prouve que la mutation a des effets pleiotropiques.

MODIFICATIONS POSITIVES ET NÉGATIVES SIMULTANÉES

TABLEAU 43

Lignée	Coloration à la montée en tige	Résistance à la verse	Hauteur de paille	Dates	
				d'épiaison	de maturité
Piroline	6	7,0	88 cm	14/6	9/8
Xb 380.44P	8	5,7	88 cm	15/6	9/8
Xb 382.19P	7	9,0	80 cm	16/6	9/8
Xb 382.179P	8	3,2	75 cm	10/6	6/8
Piroline	6	7,0	88 cm	14/6	9/8
Xb 383.274P	8	8,0	82 cm	16/6	8/8
Xb 384.31P	6,5	5,7	93 cm	14/6	9/8
Xb 384.38P	8	4,7	82 cm	15/6	8/8
Piroline	6	7,0	88 cm	14/6	9/8
Xb 387.110P	4	8,0	92 cm	13/6	9/8
Xb 389.197P	7	7,8	85 cm	12/6	8/8
Xb 390.420P	8	5,6	73 cm	5/6	7/8

TABLEAU 44

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épis/m ²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
Piroline	100,00 ± 2,65	614 ± 18	17,31 ± 0,42	33,98 ± 0,88
Xb 380.44P	90,46 ± 2,65	634 ± 18	18,38 ± 0,42	28,03 ± 0,88
Xb 382.19P	83,90 ± 2,65	563 ± 18	17,51 ± 0,42	30,76 ± 0,88
Xb 382.179P	93,22 ± 2,65	636 ± 18	15,01 ± 0,42	35,14 ± 0,88
Piroline	100,00 ± 1,93	596 ± 22	18,17 ± 0,54	33,58 ± 0,71
Xb 383.274P	66,57 ± 1,93	447 ± 22	18,46 ± 0,54	29,09 ± 0,71
Xb 384.31P	97,56 ± 1,93	666 ± 22	17,39 ± 0,54	30,44 ± 0,71
Xb 384.38P	68,50 ± 1,93	516 ± 22	16,41 ± 0,54	29,32 ± 0,71
Piroline	100,00 ± 2,62	591 ± 17	16,55 ± 0,52	34,67 ± 0,89
Xb 387.110P	65,76 ± 2,62	372 ± 17	17,05 ± 0,52	34,94 ± 0,89
Xb 389.197P	89,43 ± 2,62	542 ± 17	17,04 ± 0,52	32,85 ± 0,89
Xb 390.420P	80,46 ± 2,62	526 ± 17	13,58 ± 0,52	38,16 ± 0,89

La pleiotropie complique fortement l'exploitation pratique de la mutagenèse car un mutant peut avoir simultanément certains caractères modifiés positivement et d'autres négativement. Les essais de 1956 en ont fourni plusieurs exemples (tableaux 43 et 44) :

Xb 380.44P est plus résistant à la sécheresse mais plus sensible à la verse ; son rendement est moindre parce qu'il forme un petit grain.

Xb 382.19P, Xb 383.274P et Xb 389.197P sont plus résistants à la sécheresse et à la verse mais leur productivité est réduite par leur faible capacité de tallage et la petitesse de leur grain.

Xb 382.179P, Xb 384.38P et Xb 390.120P ont une paille courte mais elle est très peu rigide.

Xb 381.31P possède une capacité de tallage élevée mais sa résistance à la verse est plus faible et son grain plus petit.

Xb 387.110P est très résistant à la verse mais sa productivité est réduite consécutivement à une forte diminution du tallage.

EFFETS PLEIOTROPIQUES RÉDUITS

Il ne faut cependant pas généraliser l'importance de la pleiotropie car les effets d'une mutation peuvent être limités à un ou quelques caractères ; ils peuvent par exemple s'exercer au niveau de caractères qui revêtent une importance accessoire au point de vue pratique.

Xb 380.80P possède le même potentiel de production que le témoin :

TABLEAU 45

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épis/m ²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
Essai de 1956				
Piroline	100,00 ± 2,65	614 ± 18	17,31 ± 0,42	33,98 ± 0,88
Xb 380.80P	94,41 ± 2,65	551 ± 18	18,39 ± 0,42	33,61 ± 0,88
Essai de 1957				
Piroline	100,00 ± 2,32	455 ± 9	17,61 ± 0,36	46,13 ± 0,45
Xb 380.80P	101,35 ± 2,32	441 ± 9	18,17 ± 0,36	46,78 ± 0,45

Au début de Mai, ce mutant est très légèrement plus clair que Piroline ; tout au long de son développement, il est 2 à 3 cm plus haut que cette

variété ; à l'épiaison, la dernière feuille est 10 à 15° plus horizontale ; à maturité, l'épi est légèrement plus jaune et plus retombant. Toutes ces différences sont donc peu marquées mais ce qui est très net est le fait que Xb 380.80P a une résistance à la verse de 8 lorsque Piroline n'atteint que la cote 7 pour ce caractère.

La mutation est indiscutablement pleiotropique mais tous les caractères mutés n'ont qu'un effet réduit sur le comportement cultural excepté la résistance à la verse qui est nettement améliorée.

Xb 380.378P a une structure de rendement et une productivité identiques à celles de Piroline :

TABLEAU 46

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épis/m ²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
--------	-------------------	----------------------------------	-------------------------	--

Essai de 1956

Piroline	100,00 ± 2,65	614 ± 18	17,31 ± 0,42	33,98 ± 0,88
Xb 380.378P	100,96 ± 2,65	586 ± 18	18,46 ± 0,42	33,69 ± 0,88

Sa hauteur de paille et sa résistance à la verse ne sont pas modifiées mais son épiaison est de 1 à 3 jours plus tardive et sa maturité de 0 à 1 jour plus tardive que la lignée dont il est issu ; ses épis un peu moins nutants que ceux de Piroline sont orientés dans diverses directions. Ce cas associe donc la modification d'une propriété utilitaire : la précocité, avec celles de caractères sans importance spéciale : l'orientation et le port de l'épi.

Xb 382.297P possède également la même structure de rendement que Piroline :

TABLEAU 47

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épis/m ²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
--------	-------------------	----------------------------------	-------------------------	--

Essai de 1956.

Piroline	100,00 ± 1,93	596 ± 22	18,17 ± 0,54	33,58 ± 0,71
Xb 382.297P	98,81 ± 1,93	604 ± 22	17,97 ± 0,54	32,89 ± 0,71

Il épie et mûrit aux mêmes dates que la variété originale et sa résistance à la verse est identique ; il diffère seulement de Piroline par sa paille qui, à partir de la montée en tige jusqu'à la maturité, est 2 à 4 cm plus haute.

Dans certains cas, la différence que montrent les mutants par rapport à la lignée originale est tellement faible qu'on peut parfois douter de sa nature héréditaire et plusieurs cycles végétatifs sont parfois nécessaires pour en faire la preuve. Il est beaucoup plus aisé de mettre en évidence un phénomène de pleiotropie nettement marqué que de démontrer qu'une mutation ne modifie qu'un seul caractère. Les observations révèlent que tous les stades existent entre les deux extrêmes : bouleversement complet de la morphologie et de la physiologie de la plante d'une part, et légère modification d'un seul caractère d'autre part.

L'action génique s'exerce donc aux diverses étapes des chaînes de réactions qui se développent au cours de l'ontogénèse ; elle peut intervenir aussi bien au début qu'à la fin de ces chaînes et influencer ainsi des parties plus ou moins étendues de l'individu.

Les mutants progressifs

L'expérience prouve qu'on peut détecter parmi les mutants induits des mutants progressifs. Chez l'orge de printemps, on classe, dans cette catégorie, des mutations qui accroissent la résistance aux maladies, la résistance à la sécheresse, la résistance à la verse, la précocité, le rendement quantitatif et qualitatif, à condition que, dans des limites pratiques, l'amélioration d'une caractéristique ne soit pas accompagnée par la détérioration d'un autre caractère. Les mutants progressifs sont donc directement exploitables en culture.

Il faut cependant remarquer que la notion de mutant progressif est relative ; elle peut varier avec l'espèce mais aussi avec le milieu : un mutant à précocité accrue peut, par exemple, être moins productif que la variété originale sous notre climat et plus productif dans des régions plus septentrionales. Cette notion peut aussi varier avec la destination du produit ; une variété dont le grain est plus riche en protéine intéressera l'élevage, une variété plus pauvre conviendra pour la brasserie.

Des mutants progressifs ont été mis en évidence au cours des essais effectués en 1956 et en 1957 ; leurs diverses caractéristiques sont réunies dans les tableaux suivants :

Essais de 1956

TABLEAU 48

Lignée	Coloration à la montée en tige	Résistance à la verse	Longueur d'un article du rachis en mm	Hauteur de paille en cm	Dates d'épi- aison	de ma- tuté
Piroline	6	7,0	2,865 ± 0,018	88	14/6	9/8
Xb 380.80P	6	8,0	2,840 ± 0,019	90	14/6	9/8
Xb 382.62P	6	8,2	2,796 ± 0,021	88	15/6	10/8
Piroline	6	7,0	2,823 ± 0,015	88	14/6	9/8
Xb 386.290P	6	6,6	2,885 ± 0,015	91	14/6	9/8
Xb 387.44P	6	8,0	2,826 ± 0,017	92	13/6	9/8
Xb 387.288P	7	8,4	1,721 ± 0,015	83	14/6	8/8
Xb 388.291P	6,5	7,0	2,903 ± 0,028	92	13/6	9/8
Xb 390.348P	6	6,6	2,674 ± 0,014	86	16/6	9/8
Herta	4	6,4	2,612 ± 0,018	87	19/6	10/8
Xb 401.530H	4	6,0	2,570 ± 0,015	90	21/6	10/8

TABLEAU 49

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épïs/m²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
Piroline (¹)	100,00 ± 2,65	614 ± 18	17,31 ± 0,42	33,98 ± 0,88
Xb 380.80P	94,41 ± 2,65	551 ± 18	18,39 ± 0,42	33,61 ± 0,88
Xb 382.62P	100,13 ± 2,65	557 ± 18	18,71 ± 0,42	34,33 ± 0,88
Piroline (²)	100,00 ± 2,65	591 ± 17	16,55 ± 0,52	34,67 ± 0,89
Xb 386.290P	103,18 ± 2,65	578 ± 17	16,68 ± 0,52	36,33 ± 0,89
Xb 387.44P	106,90 ± 2,65	585 ± 17	17,10 ± 0,52	36,15 ± 0,89
Xb 387.288P	102,12 ± 2,65	592 ± 17	18,22 ± 0,52	32,01 ± 0,89
Xb 388.291P	103,77 ± 2,65	588 ± 27	16,10 ± 0,52	37,14 ± 0,89
Xb 390.348P	107,73 ± 2,65	647 ± 17	15,78 ± 0,52	35,48 ± 0,89
Herta (³)	100,00 ± 2,60	672 ± 21	18,74 ± 0,38	29,17 ± 0,47
Xb 401.530H	97,01 ± 2,60	622 ± 21	18,27 ± 0,38	31,44 ± 0,47

Rendement en kg/ha : (¹) = 3.617 ± 96 ; (²) = 3.388 ± 90 ; (³) = 3.686 ± 96.

TABLEAU 50

Lignée	Balles % m.s.	Protéines % m.s.	Extrait M.F.B.
Piroline	9,1	10,43	79,0
Xb 380.80P	8,6	10,81	80,0
Xb 382.62P	8,9	10,92	79,0
Piroline	9,0	10,56	79,4
Xb 386.290P	8,8	9,82	79,5
Xb 387.44P	8,7	10,57	80,1
Xb 387.288P	9,4	10,97	78,5
Xb 388.291P	7,9	11,12	79,4
Xb 390.348P	8,8	10,46	79,5
Herta	8,8	10,73	77,8
Xb 401.530H	8,1	10,60	79,0

Essais de 1957

TABLEAU 51

Lignée	Hauteur de paille en cm	Dates		Rendement en paille	
		épiaison	maturité	kg/ha	%
Piroline	80	8/6	19/7	2.930 ± 88	100,00 ± 3,00
Xb 380.80P	83	7/6	19/7	2.915 ± 88	99,48 ± 3,00
Xb 382.62P	80	8/6	20/7	2.847 ± 88	97,18 ± 3,00
Xb 387.44P	81	7/6	19/7	2.873 ± 88	98,08 ± 3,00
Xb 387.288P	73	8/6	19/7	2.920 ± 88	99,65 ± 3,00
Xb 388.291P	79	8/6	19/7	2.896 ± 88	98,84 ± 3,00
Xb 390.348P	83	8/6	19/7	2.965 ± 88	101,19 ± 3,00
Piroline	80	7/6	19/7	2.962 ± 137	100,00 ± 4,62
Xb 384.22P	87	6/6	18/7	3.367 ± 137	113,67 ± 4,62
Xb 384.50P	86	6/6	19/7	3.270 ± 137	110,39 ± 4,62
Herta	77	10/6	20/7	3.042 ± 140	100,00 ± 4,60
Xa 13.3H	75	8/6	19/7	2.855 ± 140	93,85 ± 4,60

TABLEAU 52

Lignée	Rendement en %	Nombre d' épis/m ²	Nombre de grains/épi	Poids de 1.000 grains en grammes
Piroline (¹)	100,00 ± 2,32	455 ± 9	17,61 ± 0,36	46,13 ± 0,45
Xb 380.80P	101,35 ± 2,32	441 ± 9	18,17 ± 0,36	46,78 ± 0,45
Xb 382.62P	96,24 ± 2,32	432 ± 9	18,53 ± 0,36	44,44 ± 0,45
Xb 387.44P	96,81 ± 2,32	427 ± 9	18,44 ± 0,36	45,42 ± 0,45
Xb 387.288P	93,78 ± 2,32	435 ± 9	18,96 ± 0,36	42,14 ± 0,45
Xb 388.291P	92,62 ± 2,32	434 ± 9	17,22 ± 0,36	45,71 ± 0,45
Xb 390.348P	101,29 ± 2,32	461 ± 9	18,07 ± 0,36	44,91 ± 0,45
Piroline (²)	100,00 ± 2,79	476 ± 16	18,61 ± 0,46	44,74 ± 1,09
Xb 384.22P	101,81 ± 2,79	463 ± 16	18,67 ± 0,46	46,72 ± 1,09
Xb 384.50P	105,66 ± 2,79	479 ± 16	18,04 ± 0,46	48,48 ± 1,09
Herta (³)	100,00 ± 2,47	494 ± 16	18,36 ± 0,34	42,73 ± 1,80
Xa 13.3H	96,87 ± 2,47	485 ± 16	15,92 ± 0,34	48,48 ± 1,80

Rendement en kg/ha : (¹) = 3.700 ± 86 ; (²) = 3.970 ± 111 ; (³) = 3.871 ± 96.

TABLEAU 53

Lignée	Balles % m.s.	Protéines % m.s.	Extrait M.F.B.
Piroline	7,72	10,65	80,4
Xb 380.80P	6,75	9,80	81,5
Piroline	7,65	10,20	80,9
Xb 384.50P	7,11	10,50	80,5
Herta	7,44	9,70	80,3
Xa 13.3H	8,55	11,10	79,4

Les résultats acquis au cours de ces deux années d'essais montrent que des progrès ont été enregistrés pour divers caractères que nous allons analyser successivement.

L'INTENSITÉ DE LA COLORATION à la montée en tige correspond à une résistance à la sécheresse plus élevée qui se marque très distinctement lorsqu'une longue période sans pluie survient après la levée des emblavures. Divers mutants sont supérieurs à Piroline à ce point de vue ; il faut cependant remarquer que l'influence de ce caractère n'est pas telle qu'elle accroisse le rendement de ces lignées ; les conditions de milieu au cours desquelles s'est déroulé ultérieurement le cycle végétatif ont nivelé l'avantage initialement acquis.

LA RÉSISTANCE À LA VERSE peut être améliorée sans qu'aucune autre caractéristique défavorable n'accompagne cette mutation progressive. Une différence entre deux cotations supérieure à 0,5 unité peut être considérée comme étant significative. La résistance à la verse se présente chez les mutants à épi compact (Xb 387.288P) ; il est cependant douteux que de telles lignées puissent avoir, dans notre pays, une valeur pratique : leur dessiccation naturelle pourrait être plus difficile lors des étés pluvieux, leur grain est souvent de grosseur irrégulière et donne un extrait en brasserie parfois plus faible. Les mutants Xb 380.80P, Xb 382.62P, Xb 387.44P sont beaucoup plus intéressants parce qu'ils possèdent une meilleure résistance à la verse alors que la densité de leur épi demeure inchangée. Il n'a pas encore été possible de classer ces nouvelles variétés par rapport à Herta parce que cette lignée, qui a ordinairement une paille plus rigide que Piroline, ne fut pas supérieure à celle-ci en 1956 ; d'autre part, la verse ne s'est pas manifestée en 1957 (*).

Les données montrent la complexité du problème puisqu'en 1956 le tallage de Xb 380.80P et Xb 382.62P fut inférieur à celui du témoin alors qu'en 1957, c'est chez Xb 387.44P que ce phénomène se présente ; cette particularité ne peut pas être considérée comme annihilant le caractère progressif de ces mutants puisque la réduction est compensée au niveau des autres facteurs de rendement.

LA HAUTEUR DE LA PAILLE des mutants qui figurent dans les tableaux précédents diffère peu de celle de Piroline ; seul le type compact Xb 387.288P est nettement plus court et pourtant son rendement en paille en kg/ha est aussi élevé que celui de cette variété. La production de paille chez l'orge a une importance pratique réduite dans notre pays. Il est cependant intéressant de noter que Xb 384.22P produit un poids de paille par hectare significativement plus élevé que la lignée originale ; comme ce mutant possède la même productivité en grains que Piroline, son rendement global : grain + paille, marque un progrès de 6,8 % par rapport à cette variété.

(*) En 1958, la résistance à la verse de ces lignées a pu être comparée à celles de Herta et Piroline :

Lignée	Résistance à la verse	
	23 juin	27 juin
Herta	8,0	5,8
Piroline	4,3	3,3
Xb 380.80P	6,3	4,3
Xb 382.62P	5,1	4,0
Xb 387.44P	6,1	3,6

Les divers mutants sont donc supérieurs à Piroline mais n'atteignent pas le niveau de Herta pour la rigidité de la paille.

Cette modification héréditaire présente un grand intérêt théorique car **elle démontre qu'une mutation peut induire un accroissement de la capacité totale de production.**

LE TALLAGE peut être réduit ou accru sans que le rendement soit modifié ; pour autant que la productivité ne soit pas diminuée, on ne peut considérer comme étant sans valeur des lignées dont le tallage est légèrement réduit. Il semble cependant qu'une amélioration de ce caractère pourrait exercer une influence favorable dans des sols de seconde qualité.

LE NOMBRE DE GRAINS PAR ÉPI est peu modifié chez les mutants productifs ; il ne subit une réduction marquée que dans un seul cas : Xa 13.3H où sa diminution est compensée par un accroissement de la grosseur du grain.

LA GROSSEUR DU GRAIN ainsi que les différences existant pour ce caractère entre les mutants et la lignée originale sont influencées par les conditions de milieu ; en 1956, le grain de Xb 288.291P est nettement plus gros que celui de Piroliné ; par contre, en 1957, ces deux variétés ont un poids de 1.000 grains identique mais dans le premier cas, 1.000 grains du témoin ne pèsent que $34,67 \pm 0,89$ g alors que dans le second, ils atteignent $46,13 \pm 0,45$ g.

Le calibrage effectué sur la totalité des grains récoltés dans les essais de 1956 montrait cependant une différence très nette entre les produits fournis par les deux lignées :

TABLEAU 54

Lignée	Grains de + de 2,8 mm	Grains de 2,5 à 2,8 mm	Grains de 2,2 à 2,5 mm	Grains de — de 2,2 mm
Piroliné	12,60 %	47,36 %	25,80 %	14,22 %
Xb 288.291P	33,27 %	42,73 %	14,94 %	9,04 %
Piroliné	58,77 %	31,05 %	8,22 %	1,95 %
Xb 384.50P	70,55 %	22,90 %	5,10 %	1,45 %
Herta	53,12 %	37,80 %	6,70 %	2,37 %
Xa 13.3H	69,00 %	24,95 %	4,61 %	1,42 %

En 1957, chez deux autres mutants, l'un issu de Piroliné : Xb 384.50P, et l'autre de Herta : Xa 13.3H, le poids de 1.000 grains fut nettement plus élevé que celui de la variété originale ; les chiffres du tableau 54 montrent les différences enregistrées au calibrage.

L'accroissement de la grosseur du grain est une amélioration importante au point de vue pratique ; il diminue le taux de déchets inutilisables pour l'usage industriel et augmente la proportion de grains classés dans les deux

premières catégories. Cet avantage peut cependant être annihilé par une modification défavorable de la constitution du grain ainsi que nous le verrons ci-après.

LA COMPOSITION DU GRAIN est déterminée par l'analyse : 1) de la teneur en balles en % de la matière sèche, 2) de la teneur en protéines en % de la matière sèche, 3) de l'extrait effectué selon la méthode M. F. B.

Les chiffres obtenus en 1956 révèlent que les mutations peuvent modifier profondément la composition du grain. Si on limite les observations aux mutants dont la productivité est identique à celle de Piroline, les chiffres minima (m) et maxima (M) sont les suivants :

TABLEAU 55

Lignée	Balles % m.s.	Protéines % m.s.	Extrait M.F.B.
Piroline	9,0 — 9,1	10,43 — 10,56	79,0 — 79,4
Xb 381.483P	8,5	10,71	77,9 (m)
Xb 382.179P	9,3 (M)	9,58 (m)	79,0
Xb 384.31P	7,2 (m)	11,17 (M)	80,2 (M)

Aucun mutant de productivité inférieure ne fournit un extrait plus élevé que le témoin ; dans les essais de 1956, 20 mutants issus de Piroline ont une productivité inférieure à celle de cette variété ; leur rendement en extrait s'élève à une moyenne de 78,18 %. 15 mutants dont la productivité est identique à celle de Piroline ont un rendement en extrait qui atteint une moyenne de 79,08 %.

La qualité du grain n'est pas liée à sa grosseur ; nous avons signalé, au paragraphe précédent, que deux mutants à gros grains : Xb 384.50P et Xa 13.3H avaient été décelés au cours des essais de 1957. La composition du grain de ces nouvelles lignées diffère de celles des variétés originales (tableau 53). Le grain de Xb 384.50P a des balles plus fines, contient un peu plus de protéines et donne un extrait un peu plus faible que Piroline ; il ne paraît pas dépourvu d'intérêt au point de vue brassicole. Xa 13.3H, par contre, a des caractéristiques analytiques absolument mauvaises ; malgré la grosseur de son grain, ce mutant ne possède aucune valeur pour l'utilisation en brasserie.

L'amélioration d'un des constituants du grain peut cependant être compensée par la régression d'un des autres caractères : chez Xb 384.31P, le progrès que constitue la diminution de la teneur en balles est partiellement réduit par l'accroissement de la teneur en protéines ; malgré ce fait cette lignée est néanmoins celle dont l'extrait est le plus élevé. Elle n'est cependant pas classée parmi les mutants progressifs parce que sa paille est plus sensible à la verse que celle de Piroline.

Parmi les mutants progressifs, on peut signaler Xb 380.80P et Xb 401.530H qui, en 1956, ont une teneur en balles plus faible et un extrait plus élevé. Xb 401.530H n'a pas été repris dans les essais de 1957 parce que l'analyse chimique de cette lignée n'était pas terminée au moment des semis. Xb 380.80P, qui a figuré également dans les essais de 1957, a confirmé au cours de ceux-ci les résultats obtenus en 1956 :

TABLEAU 56

Lignée	Balles % m.s.	Protéines % m.s.	Extrait M.F.B.
Année 1956			
Piroline	9,1	10,43	79,0
Xb 380.80P	8,6	10,81	80,0
Année 1957			
Piroline	7,72	10,65	80,4
Xb 380.80P	6,75	9,80	81,5

La teneur en balles plus faible et l'extrait plus élevé de cette nouvelle lignée constituent assurément une modification héréditaire. Xb 380.80P est donc un mutant progressif pour deux caractères : la qualité de son grain et sa résistance à la verse (tableau 48) ; il constitue de ce fait une des lignées les plus intéressantes au point de vue pratique obtenue au cours de nos recherches.

Ces données analytiques montrent que le rendement quantitatif et le rendement qualitatif peuvent aller de pair, qu'en général, les mutants de faible productivité ont une qualité inférieure et qu'à rendement égal, il est possible d'améliorer la qualité du grain d'orge par mutation.

LA PRÉCOCITÉ ET LE RENDEMENT EN GRAIN n'ont subi aucune modification dans un sens progressif chez les mutants qui ont été introduits dans nos essais. Les observations faites sur d'autres lignées permettent cependant d'espérer qu'on atteindra des résultats tangibles pour ces deux propriétés.

Utilisation des mutants en hybridation

L'intérêt pratique de la mutagenèse ne se limite pas uniquement à l'obtention de mutants progressifs ; ceux-ci, ainsi que tout mutant porteur d'un caractère amélioré, peuvent aussi être intégrés dans un programme d'hybridation.

A priori, il est impossible de prévoir les résultats que l'on obtiendra car ils varieront selon la nature de la modification génétique et son degré de pleiotropie.

Le cas le plus simple est celui où la mutation n'a modifié qu'un seul gène ;

l'allèle muté est, le plus souvent, récessif par rapport au gène primitif. Le croisement du mutant avec la lignée originale ne peut donner naissance à aucune forme nouvelle et il ne sera effectué que pour contrôler le comportement génétique de la mutation induite.

Il est plus intéressant de croiser le mutant avec des variétés autres que la lignée originale car l'effet d'une mutation dépend de la balance génique et peut s'extérioriser différemment dans un noyau constitué de chromosomes porteurs d'allèles différents.

Quand plusieurs mutations géniques sont présentes simultanément dans un même organisme : aa bb, le croisement avec la variété originale : AA BB peut produire des formes nouvelles : AA bb, aa BB ; en hybridant deux mutants différents : cc CC et CC dd, leur descendance comprendra la lignée originale : CC DD ainsi que le double récessif nouveau : cc dd.

Le nombre de génotypes nouveaux est plus élevé lorsque le polyhybridisme du mutant est plus accentué mais ce cas est extrêmement rare.

Les croisements convergents donneront naissance à des génotypes nouveaux plus nombreux. Au cours d'une première génération, on hybride les mutants deux à deux :

aa BB CC DD x AA bb CC DD	AA BB cc DD x AA BB CC dd
F1 : Aa Bb CC DD	F1 : AA BB Cc Dd

Les hybrides F1 obtenus sont croisés entre eux et ils produisent au cours de la génération suivante :

- 1/16 homozygote identique au type normal,
- 4/16 hétérozygotes monohybrides,
- 6/16 hétérozygotes dihybrides,
- 4/16 hétérozygotes trihybrides, et
- 1/16 hétérozygote tétrahybride.

Par autofécondation, des combinaisons nouvelles ne peuvent provenir que des trois dernières classes ;

- les dihybrides produiront 1/16 de doubles récessifs homozygotes ;
- les trihybrides, 1/64 de triples récessifs homozygotes ;
- les tétrahybrides, 1/256 de quadruples récessifs homozygotes.

Un tel travail permet l'obtention de 11 génotypes homozygotes nouveaux mais il exige, pour son exécution, quatre cycles végétatifs.

La complexité du problème s'accroît lorsque des remaniements chromosomiques ont été induits. Certains mutants peuvent être totalement fertiles et homozygotes pour des translocations réciproques, des inversions, des translations ; après hybridation, ces remaniements provoquent une stérilité d'intensité variable lorsqu'on croise les mutants qui en sont porteurs avec des variétés dont la constitution chromosomique est normale mais,

au cours de la deuxième génération, on peut fixer le remaniement à l'état homozygote dans un génotype différent comprenant des chromosomes entiers issus du second géniteur ou des séquences de gènes transférées par crossing-over.

Dans notre programme, de telles recherches ne sont qu'à leur début ; elles présentent un très grand intérêt mais leur réalisation se heurte, en ordre principal, à l'ampleur des travaux que nécessite leur exécution.

Le rôle de la mutagenèse dans l'amélioration de l'orge

Il n'est pas facile de comparer avec précision l'intérêt pratique que présente la mutagenèse à celui qu'offre l'hybridation pour l'amélioration de l'orge car le hasard joue un grand rôle dans l'un et l'autre domaine.

Une comparaison complète des deux techniques devrait porter sur un matériel végétal très étendu or, à l'heure actuelle, la somme des recherches effectuées par les chercheurs qui travaillent les mutations dans un but d'amélioration est encore trop faible pour permettre cette étude.

Il est cependant possible de dégager quelques conclusions à partir des résultats déjà obtenus.

Du point de vue strictement pratique, la technique d'hybridation donnera, avec plus de certitude, les combinaisons désirées si l'on dispose des géniteurs adéquats. Il ne faut cependant pas perdre de vue que, chez certaines races, il peut exister une liaison plus ou moins forte entre des gènes intéressant les objectifs de sélection et d'autres engendrant une moindre productivité ; dans cette éventualité, le taux de lignées améliorées que l'on obtient peut être très faible et des rétrocroisements peuvent s'avérer nécessaires pour atteindre les résultats désirés.

En cas de pleiotropie, l'hybridation ne peut dissocier le groupe des caractères contrôlés par un gène à action pleiotropique.

Certains croisements aboutissent à la création de formes transgressives qui sont supérieures aux deux géniteurs pour une ou plusieurs particularités mais il est impossible, à priori, de déterminer les géniteurs ou les croisements susceptibles de donner de tels résultats.

La comparaison entre hybridation et mutation est donc difficile en raison de la diversité des cas qui peuvent se présenter. A l'heure actuelle, on peut encore espérer aboutir à de grands progrès par la technique des croisements mais l'utilisation de la mutagenèse peut aussi contribuer efficacement à l'amélioration. Ces deux méthodes ne s'opposent nullement et sont appelées à se compléter. D'une part, on peut recourir à l'induction de mutants progressifs dans des lignées différentes obtenues par hybridation et, d'autre part, l'utilisation de certains mutants dans les programmes d'hybridation peut aussi contribuer à de nouveaux progrès.

En effet, les résultats acquis au cours de nos recherches montrent indiscutablement que l'induction de mutations au moyen de rayons X peut être considérée comme une méthode valable dans l'amélioration de l'orge.

Pour obtenir des résultats tangibles, il est cependant indispensable de suivre une technique adéquate dont les points essentiels sont les suivants : irradier les variétés qui possèdent la plus haute productivité, utiliser de fortes doses de radiations afin d'atteindre les taux de mutations les plus élevés, travailler sur un important matériel végétal, procéder à la détection des mutants non seulement au cours de la deuxième génération mais surtout pendant la troisième génération après traitement, introduire dans les essais de rendement un grand nombre de mutants.

Cette façon de procéder exige la mise en œuvre de moyens étendus mais elle est pleinement justifiée par les résultats qui ont été obtenus. En utilisant cette méthode, il a été possible de détecter des mutations qui modifient héréditairement tous les caractères de l'orge. Des génotypes nouveaux ainsi créés offrent suffisamment d'intérêt pour intervenir comme géniteurs dans un programme d'hybridations ; certains peuvent même être utilisés directement en culture car ils constituent des mutants progressifs qui sont améliorés, par rapport à la lignée originale, en ce qui concerne la résistance à la sécheresse, la résistance à la verse, le tallage, la grosseur du grain ou la qualité du grain.

A un point de vue plus fondamental, la mutagenèse fournit également des indications intéressantes ; elle permet de mieux connaître la morphologie et la physiologie de l'espèce par l'analyse comparée des mutants obtenus ; elle donne une idée précise de l'action de gènes individuels sur le phénotype, elle permet l'analyse exacte des phénomènes de pleiotropie et elle crée un matériel de départ pour l'étude de l'hérédité des caractères quantitatifs.

La mutagenèse constitue un champ d'investigation extrêmement fécond pour la génétique pure et pour la génétique appliquée à l'amélioration des plantes.

Il m'est agréable de remercier Monsieur le Professeur EM. LAROSE, Directeur de la Station de Recherches de l'État pour l'Amélioration des Plantes de Grande Culture à Gembloux pour les conseils qu'il m'a donnés au cours de ces recherches sur la mutagenèse et pour l'appui qu'il m'a accordé en mettant à ma disposition le personnel de la Station et les moyens nécessaires à leur réalisation.

J'exprime également ma profonde gratitude au Fonds National de la Recherche Scientifique qui m'a apporté le soutien moral et matériel de plusieurs « Crédits aux Chercheurs » au cours des années 1951 à 1957.

Je remercie aussi le Docteur A. HERVE de l'Université de Liège qui m'a permis d'utiliser les appareils à rayons X de l'Institut de Radiothérapie de 1951 à 1954 ;

Monsieur Ch. PLEVOETS, Directeur des Malteries Franco-Belges et Monsieur R. LEGROS, Chef de Travaux à la Station d'Amélioration des Plantes qui ont bien voulu effectuer les analyses chimiques des grains récoltés en 1956 et 1957 ;

Enfin, le personnel de la Station de Recherches pour l'Amélioration des Plantes de Grande Culture à Gembloux, pour la collaboration apportée à l'exécution des divers essais et spécialement Monsieur G. GODART, Préparateur-technicien, pour la patience et la minutie avec lesquelles il m'a aidé au cours de ces travaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. BANDLOW G. 1951. Mutationversuche an Kulturpflanzen. *Der Züchter*, 21, 357-362.
2. DE VRIES H. 1901. Die Mutationstheorie, Erster Band, 648 pp., Von Veit, Leipzig.
3. FREISLEBEN R., LEIN A. 1943. Vorarbeiten zur züchterischen Auswertung röntgeninduzierte Mutationen. *Z. f. Pflz*, 235-243, 255-283.
4. FREISLEBEN R., LEIN A. 1944. Röntgeninduzierte Mutationen bei Gerste. *Der Züchter*, 16, 49-64.
5. GUSTAFSSON et al. 1954. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Vol. IV, 3.
6. GUYENOT E. 1950. La variation, 630 pp., Doin, Paris.
7. HÄNSEL H., ZAKOVSKY J. 1956. Mildew resistant barley mutants induced by X rays. *Euphytica*, 5, 347-352.
8. LUTKOV A. N. 1937. Artificial induction of a liguleless form of barley by means of X rays. *Bull. appl. Bot.*, II, 7, 197-220.
9. MOËS A. 1954. Rayons X, test de croissance et mutations. *Jl belge de Radiologie*, XXXVII, 572-587.
10. MÜLLER H. J. 1927. Artificial transmutation of the gene. *Science*, 66, 84-87.
11. NÖTZEL H. 1952. Genetische Untersuchungen an röntgeninduzierten Gerstenmutanten. *Kühn Archiv*, 66, 72-132.
12. NYBOM N. 1954. Mutation types in barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*, IV, 430-456.
13. SCHOLZ F. 1957. Mutationversuche an Kulturpflanzen. *Z. f. Pflz.*, 38, 181-220.
14. SINGLETON W. R. 1954. The contribution of radiation genetics to agriculture. Brookhaven National Laboratory.
15. STADLER L. J. 1928. Mutations in barley induced by X rays and radium. *Science*, 68, 186-187.
16. STADLER L. J. 1928. The rate of induced mutation in relation to dormancy, temperature and dosage. *Anat. Rec.*, 41, 97.
17. STADLER L. J. 1930. Some genetic effects of X rays in plants. *Jl of Heredity*, XXI, 3-19.
18. STUBBE H., BANDLOW G. 1946. Mutationversuche an Kulturpflanzen. *Der Züchter*, 17/18, 365-374.

TABLE DES MATIÈRES

T. XXVI, n° 4.

Introduction	335
CHAPITRE I. — MÉTHODES D'INDUCTION ET DE DÉTECTION DES MUTATIONS	339
Intérêt de l'orge en mutagénèse	339
Choix de la variété	340
Technique d'irradiation	341
Étude de la première génération après irradiation	346
Ralentissement de la croissance	346
Chute du taux de survie	346
Épiaison et maturité	348
Tallage, capacité des épis, fertilité	348
Mutations en X1	352
Somations en X1	352
Étude de la deuxième génération après irradiation	353
Taux de mutation	353
Taux de mutation sous 30 KV et 300 KV	355
Doses de rayons X utilisées	355
Étude de la troisième génération après irradiation	356
Taux de mutation	356
Étude des divers types de mutations	357
Mutations multiples dans une descendance de plante X2	358
Mutations de bourgeons	359
Étude de la quatrième génération après irradiation	360
Essais de rendement	361

T. XXVII, n° 2.

CHAPITRE II. — LE SPECTRE DES MUTATIONS CHEZ L'ORGE	167
Les mutants chlorophylliens	168
Le port au tallage	169
La coloration à la montée en tiges	169
La forme des feuilles	170
Le port de la dernière feuille à l'épiaison	171

Le développement de la pruite	172
La coloration de la paille	173
La coloration de l'épi	173
Le nombre de rangs de l'épi	174
La longueur de l'épi	175
La compacité de l'épi	177
Les caractères des barbes	179
Le port de l'épi	180
L'orientation de l'épi	181
Le développement	181
La résistance à la verse	188
La résistance aux maladies	189
La résistance aux insectes	191
Le tallage	192
Le nombre de grains par épi	193
Le poids du grain	196
Le rendement en grains	198

CHAPITRE III. — LE RÔLE DE LA MUTAGÉNÈSE DANS L'AMÉLIORATION DE L'ORGE

La pleiotropie chez les mutants	200
Les mutants éligulés	201
Les mutants à épis compacts	202
Les autres mutants morphologiques	204
Modifications positives et négatives simultanées	205
Effets pleiotropiques réduits	206
Les mutants progressifs	208
L'intensité de la coloration	211
La résistance à la verse	212
La hauteur de la paille	212
Le tallage	213
Le nombre de grains par épi	213
La grosseur du grain	213
La composition du grain	214
Utilisation des mutants en hybridation	215
Le rôle de la mutagénèse dans l'amélioration de l'orge	217

BIBLIOGRAPHIE	219
----------------------	-----

CHAIRE DE CONSTRUCTIONS DU GÉNIE RURAL

(Prof. L. BLANJEAN)

Contribution à l'étude des propriétés
des matériaux de recouvrement des
constructions horticoles
et des conséquences de leur utilisation (*)

par A. NISEN

Résumé de quelques points traités dans la dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques.

CHAPITRE I

RÔLE PHYSIOLOGIQUE DES DIVERSES RADIATIONS

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. — RÔLE BIOLOGIQUE DE L'ULTRA-VIOLET

Subdivision de l'U.V.

Ce rayonnement est caractérisé par un quantum d'énergie plus élevé que celui des radiations de plus grande longueur d'onde (visible et Infra-Rouge) (cf. fig. 1).

M. DE LA TOISON (21), divise ces radiations comme suit :

1) *U.V. court (zone C)* : $\lambda \leq 2.800 \text{ \AA}$ — propriétés stérilisantes.

Les radiations de moins de $2.000 \text{ \AA}$ transforment O_2 en O_3 . Cette zone C

(*) Déposé à la rédaction le 27 mai 1959.

correspond aux radiations produites artificiellement (elles sont absentes du spectre solaire).

2) *U.V. moyen (zone B)* $2.800 \leq \lambda \leq 3.150 \text{ \AA}$:

Ce serait la zone des radiations « biologiquement bienfaisantes » : elles joueraient un rôle dans la lutte contre le rachitisme, par formation de vitamine D, et contribueraient au brunissement de la peau (humaine), phénomène

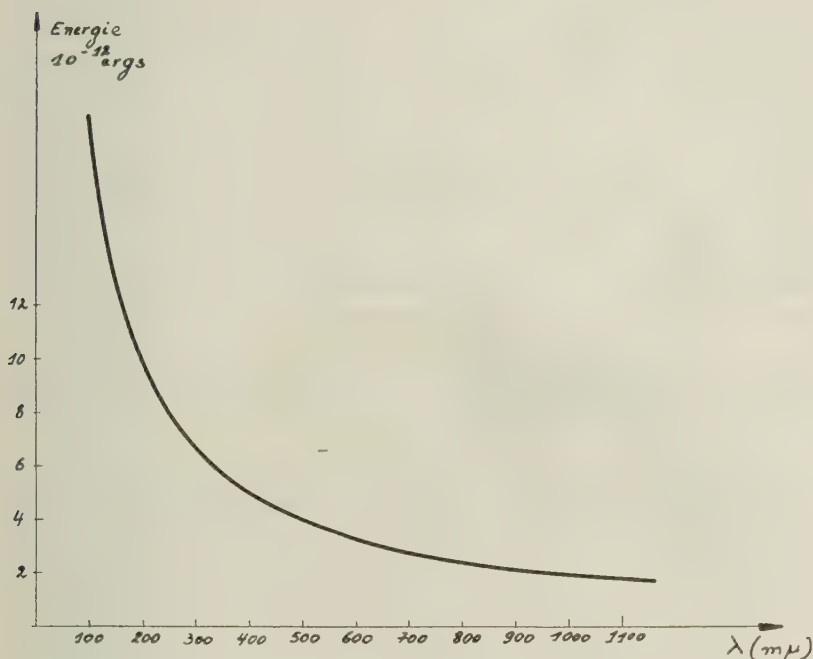


FIG. 1. — *Energie d'un quantum* ($\epsilon = h\nu$)

pouvant d'ailleurs aller jusqu'aux brûlures (érythème). Précisons que ces rayons ne parviennent sur la terre que dans certaines conditions de transparence de l'atmosphère, très rarement représentées, et aussi que, d'autre part, les plantes ne possèdent pas de vitamine D dans leurs tissus. Cela nous conduit à nier toute action importante de cet U.V. moyen sur les végétaux à part celle qui se marque à très haute altitude sur la longueur des entrenœuds et dont seraient responsables les rayons de 290 à 310 μ .

3) *U.V. proche (zone A)* $3.150 \leq \lambda \leq 3.800 \text{ \AA}$.

Dans le règne végétal, il semble être d'intérêt très limité, au point de vue de son action sur la croissance et le développement des plantes. Ces dernières paraissent subir très peu l'action de ces radiations, d'autant

plus que, à l'encontre des autres rayons, n'étant pas à même de traverser l'épiderme des plantes, elles voient leur action limitée aux cellules superficielles, épidermiques donc, les seules atteintes en définitive.

Rôle de l'U.V.

Des recherches très nombreuses ont été effectuées dans le but de déterminer le rôle exact de ces radiations.

a) Bien que les rayons de la zone C (courts) soient absents du spectre solaire, il n'est pas sans intérêt de remarquer que ce sont eux qui trouvent une application « agronomique » dans les lampes germicides (utilisées dans tous les domaines des êtres vivants), en mettant à profit l'action de ces U.V. (surtout de 2.537 Å) sur les divers micro-organismes...

b) Les U.V. moyens sont utilisés en médecine (humaine et vétérinaire) ; cette utilisation est basée sur le fait que la courbe érythémale présente deux maxima : l'un à 2.340 Å et le second à 2.967 Å, la région de 2.800 à 3.200 Å étant en fait préférée, parce que considérée comme non dangereuse et, de plus, efficace dans la lutte contre le rachitisme.

c) Les U.V. proches sont ceux qui nous parviennent du soleil, dans de bonnes conditions de transparence de l'atmosphère et lorsque la distance zénithale (formule de Beer) n'est pas trop élevée.

La détermination exacte du rôle de ces diverses longueurs d'onde en agriculture - horticulture présente des difficultés très certaines : lorsque l'on essaie de trouver dans la littérature une preuve aux assertions catégoriques couramment entendues, on se rend compte rapidement que la plupart de celles-ci n'ont aucun fondement et relèvent de la fantaisie la plus certaine. Une seule chose nous paraît exacte parmi les plus répandues, c'est la nécessité dans laquelle se trouvent certaines variétés de poires de recevoir des U.V. pour être à même de faire apparaître la coloration rouge, indice de maturation et caractère recherché chez un tel fruit mûr. Ainsi, la variété *Durondeau* cultivée sous verre se « dore » mais ne peut rougir ; quelques jours en plein soleil (en plein vent, dit l'horticulteur), et la teinte rouge si appréciée apparaît.

Si nous cherchons le pourquoi et le comment de l'apparition de la pigmentation (anthocyane ou caroténoïde) des fruits dans le livre de ULRICH (41), nous constatons que l'auteur admet à maintes reprises le rôle déterminant joué par ce qu'il appelle « la lumière » mais que jamais il ne précise la longueur d'onde la plus active et n'affirme que l'U. V. est l'agent actif par excellence. Une indication de valeur réside cependant dans le fait suivant : « l'enveloppement des fruits dans de la cellophane rouge empêche la pigmentation ». Or ce matériau coloré en rouge montre, par rapport au non-

coloré, une seule bande d'absorption supplémentaire : vers 0,570-0,580 microns (*trav. pers.*), ce qui tend à nier le rôle des U.V.

D'après le même auteur, on peut également affirmer que l'apparition de la coloration des fruits est liée à l'action simultanée d'un nombre tellement élevé et varié de facteurs qu'il est bien malaisé, sinon impossible, de définir le rôle exact de l'un parmi cet ensemble.

D'après ALLEN (1), tandis que cerises, fraises, raisins et pommes peuvent prendre à l'obscurité les teintes de la maturité, le soleil et particulièrement la portion courte (U.V.) de son spectre serait indispensable dans le cas des pommes, pêches, poires et abricots... (Encore une fois, il est malaisé de distinguer U.V. proche et violet court, quant à leur action sur les végétaux).

N'oublions pas, d'autre part, la preuve indirecte du rôle joué par la lumière solaire (ou une fraction, non encore déterminée, de celle-ci) que constitue la pratique culturale courante qui consiste à effeuiller les rameaux qui portent de l'ombre aux tomates, pêches, pommes ou poires, dans le but d'intensifier leur coloration et celle qui consiste à coller des figurines de papier sur des pommes ou des pêches de façon à déterminer des plages non colorées sur les fruits...

D'autre part, MILLER et SCHOMER (24) ont remarqué que les fruits des variétés de moyenne saison d'oranges prennent la belle couleur qui leur a valu leur nom spécifique lorsqu'ils sont situés au N.W. de l'arbre, tandis qu'ils conservent une teinte jaune pâle au S.E. Ils en concluent que les différences de coloration seraient attribuables à des variations d'insolation, et particulièrement des U.V. Ceux-ci, d'après ces auteurs, retarderaient la disparition de la couleur verte, sans toutefois altérer les pigments jaunes.

Le même phénomène a été mis en évidence par ces chercheurs sur tomate : les U.V. (provenant d'une lampe émettant de 2.537 à 5.780 Å, avec 83% de l'intensité totale concentrée dans les longueurs d'onde les plus faibles), inférieures pour la plupart à celles du rayonnement solaire) semblent responsables de la non-désintégration des pigments verts et de la non-formation des pigments rouge-orange.

D'ailleurs, SMITH (37), croit que la présence d'U.V. inhibe la formation de lycopène dans la tomate, alors qu'elle favorise celle de son isomère, le carotène.

Remarquons qu'il n'est pas prouvé que les U.V. solaires préviennent effectivement la formation des pigments apparaissant normalement au cours de la maturation des tomates ; mais il semble plus indéniable que ceux d'une lampe, *plus courts*, retardent le phénomène de maturation en s'opposant au départ de la chlorophylle et à la formation de caroténoïdes.

Disons encore que, si l'origine exacte des pigments caroténoïdes reste problématique, il semble bien que les pigments anthocyaniques se trans-

forment dans les cellules suivant le schéma : $\text{CO}_2 \rightarrow \text{glucides} \rightarrow \text{pigments anthocyaniques} \rightarrow (\text{réduction}) : \text{catéchines}$ et que la transformation des sucres en anthocyane soit tributaire de la lumière dans son ensemble (U.V. + visible, avec rôle spécifique plus marqué de diverses longueurs d'onde suivant les cas).

Dans le domaine des légumes, (essais sous différentes sortes de verre, dont un nettement plus transparent aux U.V. que les autres), divers auteurs mettent en évidence une augmentation de rendement attribuée aux U.V. chez concombre, un statu-quo chez la majorité (laitue, haricot, tomate, chou-rave) et une diminution de la récolte chez certains (certaines variétés de laitue, et surtout épinard) (réf. 32 et 33 notamment).

L'action des U.V. (dont les plus actifs sont ceux aux environs de 297 milli-microns) semble donc être tantôt positive, tantôt négative et souvent nulle, sur le rendement en culture maraîchère.

Conclusions

L'activité de l'U.V. dans le monde animal tend à faire croire à une action importante de ces radiations sur les plantes. En fait, les U.V. ne semblent nullement indispensables, en tant que U.V. proprement dits, en tout cas ; d'autant plus que les radiations du proche U.V. agissent simplement comme les rayons violets du spectre visible. Si même certaines cultures expérimentales ont accusé une augmentation de rendement imputée, à tort ou à raison, à l'action des U.V., il semble que ces radiations se bornent à modifier, quantitativement, certains phénomènes d'importance secondaire (comme la prise de coloration par les fruits à pépins et certains à noyau). Encore ne faut-il pas exagérer l'importance de l'absence de coloration de ces fruits puisque la chimie moderne met à la disposition du fructiculteur des produits anticryptogamiques favorisant en même temps l'apparition d'une couleur d'aspect assez naturel.

Si donc certaines matières plastiques font montre d'une transparence aux U.V. moyen et proche nettement supérieure à celle du verre, nous ne devons pas pour cela en tirer des conclusions hâtives quant à la supériorité « horticole » des premières sur le second. Et n'oublions pas que cette amélioration de transmission ne porte que sur des rayons très peu représentés dans le spectre solaire et de plus n'arrivant au sol en quantité appréciable que par atmosphère particulièrement transparente. Enfin, rappelons que le coefficient de transmission au travers d'une épaisseur unitaire d'air est fonction de la longueur d'onde et que par conséquent, les U.V. sont absorbés au cours de leur traversée de l'atmosphère dans une telle proportion que la quantité de ces rayons atteignant le sol par soleil peu élevé sur l'horizon

(0,04% de l'intensité d'émission solaire lorsque le soleil est à 7° au-dessus de l'horizon) est bien minime et pourrait être négligée sans erreur appréciable.

Le seul phénomène généralement admis est le suivant : les U.V. biotiques ralentissent la croissance des plantes ; ils agiraient indirectement par leur influence néfaste sur les auxines qu'ils sont supposés transformer en lumiauxine inactive sur la croissance.

L'action de l'U.V. biotique semble, le plus souvent, n'être qu'une intensification de celle du « violet » et du « bleu ».

2. — RÔLE BIOLOGIQUE DE L'INFRA-ROUGE

Les rayons I.-R. sont très souvent affublés du nom de « calorifiques ». DÉRIBÉRE (9) s'oppose vivement à cette habitude qu'il estime devoir absolument disparaître.

Les rayons I.-R., dit-il en effet, n'ont pas de propriétés calorifiques particulières. Comme toutes les autres radiations, y compris celles de l'U.-V. lointain et celles du visible, (lorsque le quantum d'énergie reçu n'est pas transformé en tout ou en partie pour une réémission de luminescence ou en énergie utilisée par des phénomènes photochimiques de dissociation), ils peuvent être absorbés par des écrans ou des corps interposés et ils se transforment *alors* en chaleur par dégradation énergétique. Mais l'effet calorifique ne résulte que de l'absorption et il n'est nullement un caractère spécifique et exclusif des rayons I.-R. Ceux-ci traversant un écran parfaitement transparent pour eux, ne l'échauffent pas. Si les manifestations thermiques du rayonnement I.-R. sont infiniment plus marquées que celles du rayonnement lumineux ou U.V., c'est uniquement parce qu'ils sont produits plus facilement en grandes quantités.

Chacun de ses quanta possède une énergie chimique plus faible que celle caractérisant les divers rayonnements du visible. Et plus la longueur d'onde de l'I.-R. augmente, plus cette énergie par quantum diminue. L'absorption d'un quantum « lumineux » de $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ par une molécule, correspond à une « chaleur d'activation » d'environ 57.000 cal., tandis que l'absorption d'un quantum de $\lambda = 15.000 \text{ \AA}$ ne dégage que le tiers de chaleur d'activation (plus ou moins 19.000 cal.). Donc, on conçoit que l'activité chimique de l'I.-R. soit insuffisante pour déranger les édifices chimiques moléculaires et qu'elle se borne à provoquer des oscillations des atomes autour de leur position d'équilibre, ce qui correspond à un échauffement des corps qui absorbent ces rayons (voir fig. 1, p. 223).

Nous nous bornerons à distinguer, du point de vue biologique avec le Comité de la « Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde », les radiations :

1) $1.000 \text{ m}\mu. \leq \lambda$: qui ne possèdent aucune action spécifique (connue) sur les plantes ; elles sont transformées en chaleur lorsqu'elles sont absorbées (ou plutôt, dans la proportion où elles le sont), mais il n'y a aucune interférence biochimique.

Notons d'ailleurs que les I.-R. de longueur d'onde supérieure à $1.400 \text{ m}\mu.$ sont relativement peu abondants dans le spectre solaire mais formés en très grande quantité par les lampes à incandescence. Ils sont fortement absorbés par les feuilles (plus que les rayons de 1.000 à $1.400 \text{ m}\mu.$), car ces organes sont riches en eau et l'eau absorbe pratiquement tout l'I.-R. de cette zone.

2) $700 \leq \lambda \leq 1.000 \text{ m}\mu.$ C'est la région de l'effet spécifique d'allongement sur les plantes.

Certains auteurs prétendent de plus que la bande de 700 à $800 \text{ m}\mu.$ aurait une action néfaste sur les végétaux.

De toute façon, l'allongement dû à ces longueurs d'onde se remarque surtout chez les plantes qui ont été élevées sous une forte lumière provenant des lampes à incandescence.

Il est toujours intéressant de noter que les feuilles absorbent $\pm 25 \%$, réfléchissent $\pm 50 \%$ et transmettent les ± 25 derniers % de l'I.-R. qui les atteint.

Les I.-R. ne semblent donc pas avoir d'action très marquée (en dehors de celle de certaines portions du spectre qui déterminent un allongement certain) ; ils contribuent à l'évaporation et, par suite, à la circulation d'eau dans la plante et permettent à celle-ci de fixer les éléments minéraux du sol.

D'autre part, RABINOWITCH (57, p. 1153) constate que, si le spectre d'extrait de chlorophylle montre nettement une rapide diminution de l'absorption, par ce pigment, des longueurs d'onde supérieures à $680 \text{ m}\mu.$, le spectre des cellules intactes, par contre, révèle en plus d'un déplacement des bandes d'absorption du rouge, de 660 à $680 \text{ m}\mu.$, une extension de cette absorption vers de plus grandes longueurs d'onde.

Bien que les résultats obtenus par divers auteurs soient très différents, disons que EMERSON et LEWIS ont mis en évidence une diminution rapide et nette du rendement photosynthétique à partir de $680 \text{ m}\mu.$; celui-ci s'annulerait vers $730-740 \text{ m}\mu.$ Des résultats analogues furent obtenus par plusieurs auteurs travaillant sur matériel différent (plantes inférieures surtout).

LIVINGSTON, lui, a pu observer une chute d'intensité dans la fluorescence de la chlorophylle (en solution dans l'éther et l'acétone) dans la même région spectrale.

Enfin, WAREING reprend, à propos de la germination de graines de *Betula pubescens*, la théorie émise par BORTHWICK *et al.*, au sujet du comportement des graines de laitue : le « rouge » et l'infra-rouge ont des effets anta-

gonistes sur la germination ; ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que la « photoperception » concernerait un pigment qui pourrait exister sous deux formes, « interconvertibles » : P_1 et P_2 ; la première forme serait transformée par la radiation rouge en P_2 , qui se retransformerait spontanément en P_1 à l'obscurité ou plus rapidement sous l'influence des I.-R.

Conclusions.

A notre point de vue donc, auront la valeur la plus grande, les matériaux qui laisseront pénétrer dans l'enceinte qu'ils recouvrent le maximum de rayons I.-R. solaires (perméabilité maximale aux longueurs d'onde comprises entre 0,7 et ± 3 microns) et qui s'opposeront le plus énergiquement au passage des radiations réémises par le sol et les plantes de l'enceinte ($4\mu \leq \lambda \leq 35-40\mu$) ; en un mot, qui présenteront avec le plus haut degré de perfection, le fameux « effet de serre ». Cette sélectivité dans la transmission du rayonnement est une condition malaisée à remplir par les matériaux tant est bizarre, du point de vue physique, le choix des radiations à intercepter ou à transmettre.

3. — RÔLE PHYSIOLOGIQUE DU VISIBLE

Nous allons faire un tour d'horizon des connaissances actuelles concernant le rôle des radiations visibles, c'est-à-dire comprises à peu de choses près entre 380 et 760 millimicrons.

Notre but, rappelons-le, n'est pas celui du physiologue qui désire établir que telle longueur d'onde possède telle propriété, ou que, de tous les rayons de longueur d'onde comprise entre les limites ci-dessus exprimées, c'est la radiation « une telle » qui est la plus efficace dans tel phénomène.

Nous désirons uniquement nous fixer des critères qualitatifs et quantitatifs qui nous permettront de conclure quant à la valeur des matériaux de recouvrement susceptibles d'être utilisés en horticulture.

En d'autres termes, quelles sont les radiations dont la longueur d'onde est comprise entre 0,38 et 0,76 μ , qu'il importe, pour un matériau, de transmettre au maximum ? ou quelle est la valeur d'un matériau qui présente, pour chacune des λ citées, tel pourcentage d'absorption ?

Nous savons qu'il est arbitraire de dissocier les phénomènes de croissance, assimilation, respiration, reproduction... d'une plante. Mais cette division est indispensable si nous voulons essayer de voir clair dans ce problème si compliqué.

1. — Rôle du visible sur le phénomène de la photosynthèse

Avant d'aborder cette étude, il importe de fixer les idées sur l'efficacité proportionnelle de la quantité de lumière solaire incidente. On estime à une valeur de l'ordre du pourcent seulement la proportion du rayonnement solaire total arrivant au niveau de la feuille, réellement utilisée pour la photosynthèse. Les valeurs admises couramment pour déterminer le pourcentage absorbé, réfléchi ou transmis sont éminemment variables. Cet unique « pourcent » situe donc le phénomène dans un ordre de grandeur qui laisse plutôt rêveur (voir fig. 2).

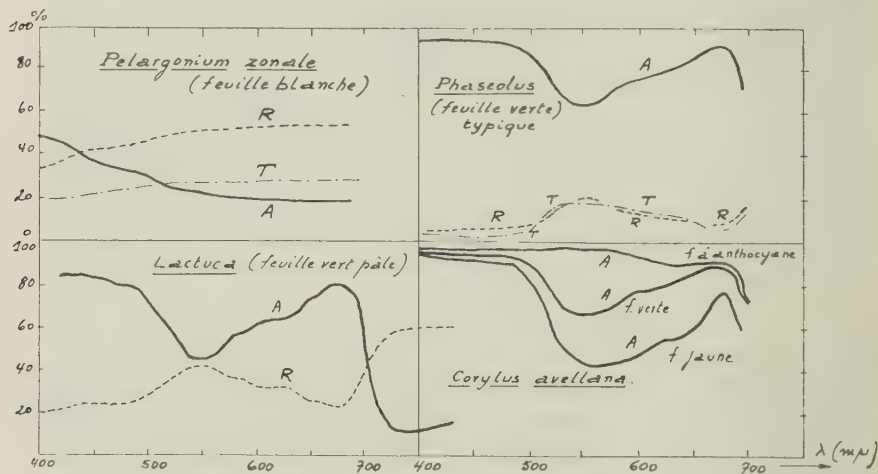


FIG. 2. — Absorption (—), Réflexion (---), Transmission (-.-) de feuilles (d'après HOLLÆENDER)

A. — POINT DE VUE QUALITATIF

Il est un fait certain, c'est que, à énergie égale, les diverses radiations n'agissent pas avec la même intensité. On s'accorde à reconnaître que le maximum d'efficacité pour l'assimilation chlorophyllienne est l'apanage des rayons « rouges et oranges ». Mais de nombreuses théories s'affrontent en ce qui concerne les autres radiations.

D'après GABRIELSEN (17), le maximum d'efficacité se trouve vers 650 mμ (rouge) ; si l'intensité de l'assimilation est égale à 1 à cette longueur d'onde, elle sera de 0,60 à 0,65 dans le jaune vert (600 à 500 mμ) et de 0,35 à 0,45 dans le bleu violet (500 à 400 mμ).

Ces résultats ont été obtenus sur diverses dicotylées (fig. 3, traits interrompus), et les valeurs réelles varient légèrement de l'une à l'autre (*Sinapis*, *Corylus*, *Fraxinus*).

Un seul maximum photosynthétique donc, d'après GABRIELSEN. De part et d'autre de ce sommet, diminution de l'efficacité des longueurs d'onde, décroissance très rapide vers l'I.-R. et plus lente vers le début du visible.

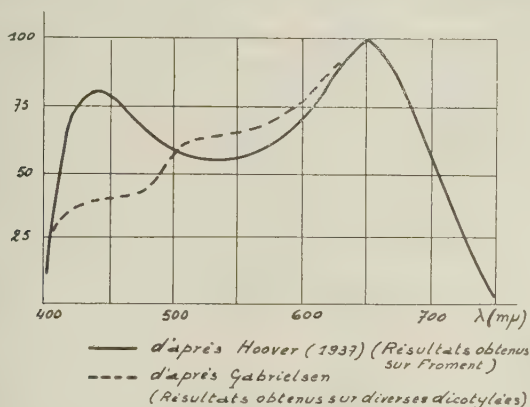


FIG. 3. — Efficacité photosynthétique des diverses longueurs d'ondes en % de celle du rouge (650 mμ)

HOOVER (19-20), par contre, signale chez le froment, un premier maximum d'efficacité vers 650 mμ (rouge) et un second, moins élevé (80% du 1^{er}) dans le bleu (440 mμ) (fig. 3, trait continu).

Une observation très intéressante de VOSKRESENSKAYA mérite d'être signalée. Grâce au C¹⁴, cet auteur a pu mettre en évidence le fait que, en lumière rouge, il se forme relativement moins d'acides aminés qu'en lumière bleue ; surtout d'alanine, qui se forme de préférence en lumière bleue.

Ces théories démontrent, — ou semblent démontrer — l'efficacité du « rouge - orange » ($610 \leq \lambda \leq 700$ millimicrons), ainsi que celle du « bleu - violet » ($400 \leq \lambda \leq 510$ millimicrons), les autres longueurs d'onde ne jouant, ou paraissant ne jouer, qu'un rôle secondaire dans la photosynthèse, d'autant plus que les radiations « rouges » sont les plus actives dans l'élaboration de la chlorophylle elle-même, alors que ce n'est que le développement des pigments (anthocyane) que le bleu-violet influence... Peut-on tirer de cet ensemble de données qu'il y a une relation stricte entre l'efficacité sur la photosynthèse et la nature des radiations absorbées par la chlorophylle *a*? Il serait logique de le faire et cela conduirait à la même conclusion que les nombreux auteurs qui ont envisagé le problème de très loin, et surtout sans dépasser l'année 1955 du point de vue bibliographie étudiée.

Jusqu'à cette date, l'opinion généralement admise était celle exprimée par le Comité de la « Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde », à savoir :

1) les radiations de 400 à 510 mμ., intensément absorbées par la chlorophylle et moyennement par les pigments jaunes, correspondent par con-

séquent à une zone d'intense activité photosynthétique dans le bleu-violet et d'action formative assez marquée ;

2) entre 510 et 610 $m\mu$, les radiations sont peu effectives du point de vue assimilation chlorophyllienne (dans le vert) et formation ;

3) dans l'intervalle 610 à 700 $m\mu$ sont comprises les radiations les plus intensément absorbées par la chlorophylle et, partant, celles qui possèdent, la plus grande efficacité photosynthétique (dans le rouge). Dans beaucoup de cas, d'ailleurs, ces radiations sont également celles douées du plus grand pouvoir « photopériodique ».

Le raisonnement sur lequel est basée toute la théorie est donc très simple : ce sont les longueurs d'onde absorbées par la chlorophylle *a* (et elles seules) qui doivent nécessairement être actives dans le processus photosynthétique. Tout le reste du spectre ne jouerait qu'un rôle secondaire, voire nul.

Mais nous devons étudier également les derniers ouvrages, — très spécialisés — publiés vers les années 1950 à 1957 (cf. spécialement réf. 57). Ceux-ci, après maints développements, en arrivent à une conclusion toute différente de la précédente, conclusion encore très incomplète d'ailleurs.

De toute la littérature consultée, il ressort un certain nombre de choses que nous allons résumer le plus brièvement possible.

1) Tout d'abord, disons que WASSINK et KATZ (45) ont découvert, il y a une bonne décade, que, dans les chloroplastes, la chlorophylle est liée à des protéines, conclusion logique des observations par lesquelles il fut mis en évidence que le spectre d'absorption de la chlorophylle, dans une cellule vivante, montre un maximum (dans le rouge) à une longueur d'onde plus grande que lorsqu'on l'examine en solution dans n'importe quel solvant. Cette association pigment-protéine apparaît comme essentielle pour la photosynthèse, le rôle de la protéine semblant être de transmettre l'énergie absorbée par le pigment à des « accepteurs d'énergie » actifs chimiquement dans l'assimilation chlorophyllienne. A ce complexe pigment - protéine, existant dans les cellules vertes, on a donné successivement les noms généraux de « phyllochlorine » puis de « chloroplastine » ; dans lequel le suffixe *ine* rappelle la nature protéinique du complexe. Puis le terme « chromophylline » fut proposé pour désigner tout complexe coloré pigment-protéine rencontré dans les cellules végétales, et l'on a tenu à réserver plus spécialement l'appellation « chlorophylline » à celui (ou ceux) de ces complexes qui se révèle(nt) actif(s) dans la photosynthèse. Il a été également trouvé que certaines algues bleues-vertes émettaient spontanément, dans certaines conditions, une substance bleue ou pourpre, la phycocyanine, protéine différente de celle du complexe chlorophylle-caroténoïde qui, elle, reste dans la cellule de l'algue, sans jamais en être « expulsée » ; dans une cel-

lule intacte, cependant, chlorophylline et phycocyanine sont en relation étroite, sont pour ainsi dire liées l'une à l'autre.

2) L'énergie absorbée par certains caroténoïdes est à même de jouer un rôle efficace dans la photosynthèse.

C'est au fond sur ce principe, ou sur un principe analogue, que reposent toutes les théories modernes concernant cette photosynthèse : la chlorophylle *a* n'est pas seule à déterminer l'intensité de la photosynthèse par le rayonnement spécifique qu'elle absorbe, mais d'autres pigments parmi lesquels le premier découvert est un caroténoïde, agissent sur la chlorophylle et, partant, exercent une action, indirecte mais indéniable, sur la photosynthèse. Cette assertion résulte du fait que ces caroténoïdes provoquent une certaine fluorescence de la chlorophylle, preuve, comme nous le verrons plus loin, de leur action sur celle-ci, de la transmission d'énergie des premiers vers cette dernière.

Le caroténoïde, appelé « fucoxanthine », apanage des diatomées, fut le premier pigment à partir duquel fut mis en évidence un transfert d'énergie vers la chlorophylle *a*, sans perte aucune. On a, en effet, trouvé que l'énergie absorbée par la fucoxanthine provoque la même fluorescence de la chlorophylle *a* que lorsque l'énergie est directement absorbée par la chlorophylle elle-même. Cette énergie est donc également effective dans la photosynthèse.

A partir de ce moment, maints transferts d'énergie vers la chlorophylle *a*, seule active en définitive dans la photosynthèse, furent prouvés successivement : il fut démontré que la chlorophylle *b* transmet une partie certaine de son énergie à son « isomère » *a* tandis que certains caroténoïdes de bactéries rouges en transmettent en quantité non négligeable aux complexes bactériochlorophylle-protéine. De même, la phycoérythrine et la phycocyanine des algues rouges transmettent jusqu'à 80 % de leur énergie d'excitation à la chlorophylle *a*.

3) De nombreux travaux, il ressort que 10 pigments au moins peuvent, par absorption de la lumière, induire la photosynthèse. Ce sont à titre documentaire :

les chlorophylles <i>a</i> et <i>b</i>	—	la bactériochlorophylle
la bactérioviridine	—	la fucoxanthine
un certain nombre de caroténoïdes des bactéries		
les phycocyanines C et R	—	les phycoérythrines C et R.

De tous ces pigments, seule la chlorophylle *a* a été trouvée dans toutes les plantes susceptibles de réaliser la photosynthèse ; c'est ce qui a conduit les chercheurs à affirmer que seule, cette chlorophylle *a* est essentielle pour le phénomène d'assimilation du même nom. S'il en est réellement ainsi, il devient vraisemblable que les autres pigments agissent alors surtout comme *transmetteurs d'énergie* : ils transmettent à la chlorophylle *a* l'énergie qu'ils ont absorbée.

En liaison avec ce qui vient d'être dit, il importe donc de connaître le spectre d'absorption de ces différentes substances. De ces courbes, il sera possible de définir quelles sont les longueurs d'ondes ou groupes de longueurs d'onde qui sont le plus susceptibles, dans l'état actuel des connaissances, d'induire la photosynthèse.

Avant de passer à l'examen de ces spectres, ou d'un certain nombre de ceux-ci, disons que la *nature du solvant* dans lequel les pigments sont recueillis influence assez fortement, non l'allure générale, mais la précision de la détermination des longueurs d'onde les plus activement absorbées. Ceci explique les différences notées chez les divers auteurs et attire notre attention sur la possibilité de la présence de mêmes divergences entre « extraits » de pigments et pigments dans une cellule vivante. RABINOWITCH met clairement en évidence les différences observées dans l'intensité d'absorption des divers pigments pour les longueurs d'onde envisagées et ce, en fonction du solvant utilisé. Il reprend, entre autres, les valeurs données en 1943 par HARRIS et ZSCHEILE pour les chlorophylles *a* et *b* dans divers solvants. Les différences observées entre pourcentages d'absorption peuvent aller jusqu'à 50 %. De plus, l'auteur compare les valeurs obtenues *in vitro* à celles qu'il suppose exactes *in vivo*.

Revenons à l'étude du spectre d'absorption des chlorophylles *a*, *b*, *c*, et *d* (que nous appellerons parfois « isomères » pour simplifier le texte et malgré l'inexactitude dont le terme est entaché). (Voir fig. 4 et 5).

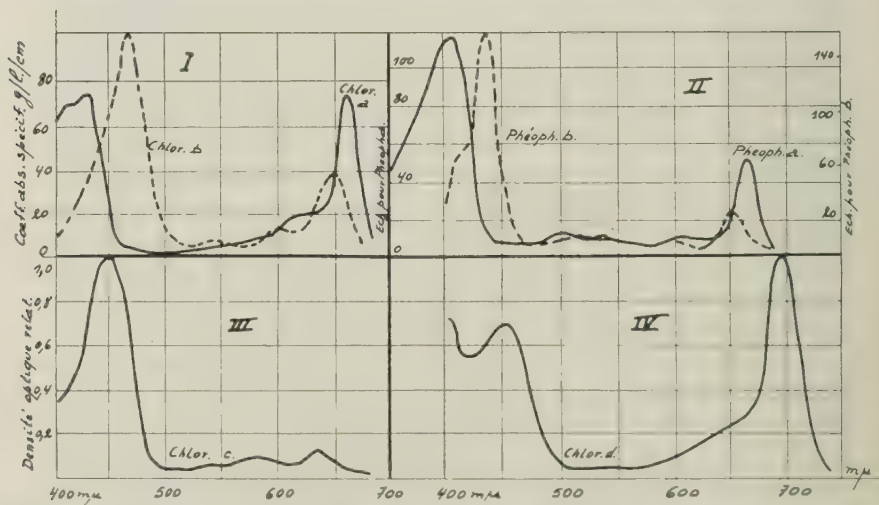


FIG. 1. - Spectre d'absorption de divers pigments et chlorophylles, en solution dans le méthanol. (d'après HOLLANDER)

Les maxima d'absorption de ces pigments, comme d'ailleurs de la protochlorophylle, sont situés dans les mêmes régions : les 5 courbes présentent la même allure générale, avec 2 maxima entre 400 et 500 millimicrons et 650-750 millimicrons. Le premier de ces maxima a la même valeur globale chez ces 5 substances, mais le second chiffre diffère sensiblement d'une à l'autre : la chlorophylle *d* atteint une valeur supérieure à celle des 4 autres, supérieure également à celles des premiers maxima (400-500 $m\mu$), tous égaux, rappelons-le, pour les 5 « chlorophylles ». Chez les chlorophylles *b* et *c*, ce maximum dans le rouge est moins marqué et, d'ailleurs, déplacé vers les plus courtes longueurs d'onde.

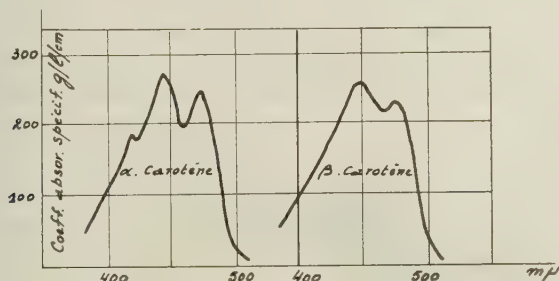


FIG. 5. — Spectre d'absorption des 2 carotènes *a* et *b* (en solution dans l'hexane)

La chlorophylle *a* atteint, suivant les auteurs modernes, une valeur d'absorption intermédiaire entre celles des autres substances du même nom pour le rouge, valeur égale d'ailleurs à celle du maximum d'absorption dans le bleu. Enfin, et ceci nous paraît important, il ressort de l'examen approfondi de ces spectres que, pour une valeur égale à peu de chose près, de l'absorption dans le bleu, un certain décalage se marque vers la droite (grandes longueurs d'onde), dans l'ordre de succession *a*, proto, *c*, *d* et *b*.

La chlorophylle peut perdre son énergie d'excitation de diverses manières :

1) par transmission de cette énergie à une substance susceptible de l'utiliser au cours d'un processus (photo-)chimique quelconque ;

2) sous forme de chaleur ;

3) sous forme de fluorescence, ce qui est le cas lorsque l'état d'excitation n'a pas disparu par une des deux manières précédentes, c'est-à-dire pour la portion d'énergie qui n'a été ni transmise ni transformée en chaleur. Dans les conditions physiologiques normales, la fluorescence de la chlorophylle des cellules végétales est peu marquée (de l'ordre de quelques dixièmes % à 1 % de la lumière incidente). Et c'est justement parce que seule une très faible portion de l'énergie disponible provoque la fluorescence que ce phénomène peut être — et est — utilisé comme indicateur sensible de la concen-

tration utilisable de chlorophylle « excitée » et des variations de cette concentration par transmission et transformation en chaleur.

Une relation très stricte lie donc photosynthèse et fluorescence de la chlorophylle.

Si donc la loi de STOKES est applicable, c'est-à-dire si « le centre de gravité du spectre d'émission d'une substance correspond à une longueur d'onde plus grande que celle du centre de gravité du spectre d'excitation », autrement dit s'il est vrai que la plus grande partie du rayonnement réémis est de longueur d'onde plus grande que celle du rayonnement absorbé, il s'ensuit que pour que les chlorophylles *b*, *c* et *d* puissent réémettre un rayonnement susceptible d'être utilisé par leur isomère *a* pour la photosynthèse, il faut que l'énergie absorbée (correspondant aux $\lambda \simeq$ au bleu) soit rémise par fluorescence sous forme de rayons de longueurs d'onde du même ordre de grandeur que celles correspondant à la seconde bande d'absorption (dans le rouge) de la chlorophylle *a*. DUYSENS (53) note que de tous les pigments associés aux organes-sièges de la photosynthèse, la chlorophylle *a* montre une absorption s'étendant le plus loin vers les grandes longueurs d'onde (rouge) et un maximum d'absorption pour une λ plus grande que celles auxquelles correspond le maximum d'absorption des autres pigments, chlorophylle *d* excepté.

Notons encore que, d'après les théories modernes, le premier niveau d'excitation de la chlorophylle *a* correspond à un *singlet* c'est-à-dire un niveau dont le *s* du moment angulaire vaut l'unité, ce qui donne à ce moment une valeur identique à celle du « spin » c'est-à-dire $h/2\pi$. En conséquence, la chlorophylle *a* ne peut être excitée que pour autant que l'énergie du photon « incident » corresponde à un *singlet*. Le bleu, par exemple, dont le photon possède une énergie plus grande, ne peut exciter la chlorophylle qu'indirectement, mais il peut exciter certains pigments, à niveau d'énergie singlet plus élevé que la chlorophylle ; une fois excités, ces pigments émettent par résonance (fluorescence) des quanta d'énergie plus faibles qui peuvent correspondre au niveau quantique de la chlorophylle *a*...

4) La transformation (ou conversion) d'énergie électronique en énergie vibrationnelle est connue sous le nom de « conversion interne » ou « résonance » ; en d'autres termes, des « quanta électroniques » peuvent être transférés d'une molécule à une autre par un processus appelé fluorescence de sensibilisation ou résonance induite. RUFUS LUMBY, J. D. SPIKES et H. EYRING en donnent la théorie (51).

Depuis que la théorie de quanta est appliquée à la photochimie, on a remarqué que l'unité élémentaire d'énergie lumineuse est le quantum de lumière ou photon. Si la longueur d'onde de la lumière absorbée est connue, l'énergie absorbée, exprimée en calories, peut alors être convertie en nombre de photons absorbés (EMERSON, 55). Et l'efficacité photosynthétique,

d'abord définie par le rapport du nombre de calories conservées au nombre de calories absorbées, devient automatiquement le rapport du nombre de molécules converties au nombre de quanta absorbés, ou encore le rapport du nombre de moles converties au nombre d'einsteins absorbés, l'einstein représentant N quanta, de la même façon que la mole représente N molécules, si N est le nombre d'AVOGADRO : $6,02 \cdot 10^{23}$.

Si nous nous reportons à ce que nous avons dit plus haut concernant la position des maxima d'absorption dans le rouge de la chlorophylle a , nous pouvons donc dire avec DUYSENS (53, 55) que toute absorption d'une longueur d'onde plus courte, par quelque pigment que ce soit, a grande chance de conduire à ce que l'on appelle le « first excited singlet state » de la chlorophylle a , c'est-à-dire au premier niveau excité « singlet ».

Si l'absorption primaire a par exemple eu lieu grâce à la présence de fucoxanthol, l'excitation passera à la chlorophylle a par son isomère c , et ce, d'une façon très efficiente.

Puisque l'on admet, continue DUYSENS, que l'énergie absorbée par les divers pigments conduit directement ou indirectement à l'excitation de la chlorophylle a et que l'on admet également que seule la-dite chlorophylle a doit être le pigment directement efficace dans la photosynthèse (direct sensitizer of photosynthesis), on en arrive forcément à interpréter les mesures du fameux rendement quantique de cette photosynthèse (quantum yield of photosynthesis) comme une fonction de la longueur d'onde de la lumière.

Le rendement de la lumière absorbée par tout pigment particulier dépendrait, toujours selon, DUYSENS, de l'efficacité avec laquelle son énergie d'excitation peut être transmise à la chlorophylle a .

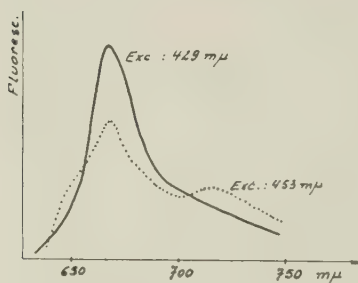
Cette efficacité n'est pas identique dans toutes les conditions ; elle dépend :

- a) de la concentration relative des deux pigments ;
- b) de la disposition (arrangement) des molécules des pigments dans les chloroplastes ou grana, et
- c) du degré de « chevauchement » des bandes de fluorescence et d'absorption.

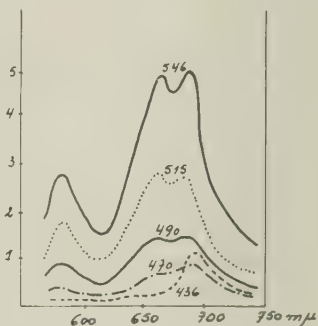
Ce dernier point nous amène à étudier de plus près le phénomène de la fluorescence, sous son aspect qualitatif (position des bandes de fluorescence par rapport à celles d'absorption du même pigment) (= chevauchement des bandes) et sous son aspect quantitatif, qui se comprend sans peine : intensité et durée du phénomène.

Fluorescence in vitro

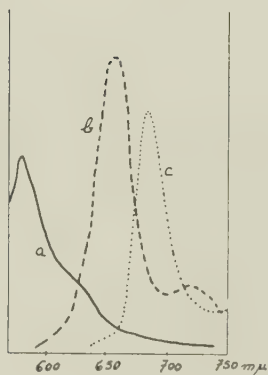
Ici encore, le rôle du solvant utilisé est de première importance et la concentration des pigments utilisée pour les mesures *in vitro* modifie nettement les résultats obtenus.



I Spectres de fluorescence des chlorophylles *a* + *b* (dans l'éther) excités par $\lambda = 429 \text{ m}\mu$ et $\lambda = 453 \text{ m}\mu$ (Diapre's Duysens). (Expl. dans texte).



II Spectres de fluorescence du *Porphyridium* excité par de la lumière monochromatique de diverses longueurs d'onde (French et Young 1951)



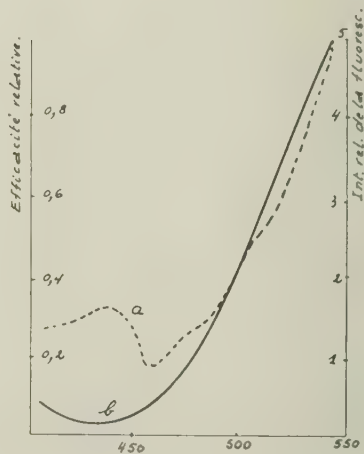
III Analyse de la fluorescence du *Porphyridium* (schéma II) excité par $\lambda = 530 \text{ m}\mu$.

(French et Young 1951)

a = phycoérythrine

b = phycocyanine

c = chlorophylle.



IV Intensité relative de la fluorescence de pigments de *Porphyridium cruentum*, en fonction de la longueur d'onde. Fluorescence excitée par lumière monochromatique à flux énergétique constant. (Les courbes sont arbitrairement ajustées pour que la fluorescence à $546 \text{ m}\mu$ soit égale à l'unité.)

a) = Chlorophylle

b) = phycoérythrine et Phycocyanine.

Fig. 6. — Spectres de fluorescence de quelques pigments (d'après RABINOWITCH).

Nous avons cru bon de reprendre (fig. 6, I), un graphique de DUYSENS, cité par RABINOWITCH, graphique dans lequel est donné le spectre de fluorescence d'un mélange des deux chlorophylles *a* et *b*, en solution dans l'éther, et ce, pour deux longueurs d'onde d'excitation, à savoir $\lambda = 429 \text{ m}\mu$ (longueur d'onde absorbée par la chlorophylle *a* à concurrence de 70 %) et $\lambda = 453 \text{ m}\mu$ (dont 5 % sont absorbés par la chlorophylle *a*).

La fluorescence est exprimée en quanta émis par quantum absorbé, rapport multiplié par une constante arbitraire.

L'auteur attribue le maximum d'émission de $670 \text{ m}\mu$ à la chlorophylle *a* et le second, plus faible, à $650 \text{ m}\mu$, à l'isomère *b*. Il note de même l'importance de la contribution de la chlorophylle *a* à la fluorescence à $670 \text{ m}\mu$ due à une excitation de $\lambda = 453 \text{ m}\mu$ et l'oppose à la faible absorption de cette dernière radiation par la chlorophylle envisagée. Il conclut de cette observation qu'il doit exister un transfert appréciable d'énergie de la chlorophylle *b* vers *a* et estime son efficacité à 40-50 %. De même, ce dernier pigment absorbe, à $429 \text{ m}\mu$, 14 fois plus de quanta qu'à $453 \text{ m}\mu$.

La même figure 6 donne en n° II, les spectres de fluorescence du *Porphyridium cruentum* excité par de la lumière monochromatique de diverses longueurs d'onde. Ces courbes sont dues à FRENCH et YOUNG (1952) cités par RABINOWITCH. Elles mettent très clairement en évidence la relation entre longueur d'onde absorbée et longueur d'onde réémise.

Les mêmes auteurs, cités par RABINOWITCH (57, p. 1869) analysent le spectre de fluorescence du *Porphyridium cruentum* excité par une lumière monochromatique de $\lambda = 530 \text{ m}\mu$ (fig. 6 III) et décomposent en fait la courbe du II, ci-dessus expliquée, en ses constituants, c'est-à-dire mettent en évidence la fluorescence propre aux 3 pigments phycoérythrine, phycocyanine et chlorophylle.

Ils démontrent encore que la fluorescence de la phycobiline n'est pas due à l'absorption de lumière violette qui est préférentiellement absorbée par la chlorophylle, mais plutôt qu'elle est à imputer à l'absorption du bleu et du vert comme montré au graphique III.

Fluorescence in vivo

Beaucoup de tissus végétaux sont le siège d'une nette fluorescence sous l'action d'U.V. ; mais seuls ceux contenant de la chlorophylle ou des phycobilines montrent une fluorescence rouge ou orange nette quoique faible, lorsqu'ils sont illuminés par du « visible ».

Ici encore, les seuls travaux dignes d'être cités ont trait à des plantes inférieures.

DUYSENS a montré qu'après excitation d'un *Porphyra* par des λ de $420 \text{ m}\mu$ (absorbées par la chlorophylle *a* et des caroténoïdes), environ 90 % de

l'énergie sont transférés à un pigment inconnu (probablement la chlorophylle *d*), moins de 10 % de la fluorescence totale provenant de la chlorophylle *a* ; si l'excitation a lieu à 546 $m\mu$ (lumière absorbée surtout par la phycoérythrine), phycocyanine et chlorophylle *a* montrent une intense fluorescence, tandis que l'isomère *d* n'accuse ce phénomène que très faiblement.

A la figure 6 IV, on note que seule la chlorophylle *a* est excitée d'une façon sensible par des longueurs d'onde de l'ordre de 400 $m\mu$ (c'est-à-dire de la portion du spectre absorbée intensément par ce pigment), tandis que phycoérythrine, phycocyanine et chlorophylle sont également excitées, qualitativement et quantitativement, par des rayons de longueur d'onde correspondant à l'absorption maximum des deux phycobilinees c'est-à-dire 480 $m\mu$.

Théoriquement, la probabilité du transfert par résonance, de l'énergie d'excitation, entre différentes molécules, est déterminée par le « chevauchement » des bandes de fluorescence de l'absorbeur de la lumière incidente (= donneur d'énergie) et les bandes d'absorption de l'accepteur d'énergie.

Dans un mélange des diverses chlorophylles, ce « chevauchement » peut être si marqué que la probabilité de transfert d'énergie entre ces substances peut être du même ordre de grandeur que celle du transfert entre deux molécules identiques. C'est ainsi que FORSTER évalue la probabilité d'un transfert d'énergie de la chlorophylle *b* vers *a* à la moitié de celle du transfert, pour la chlorophylle *a*, d'une molécule à une autre de la même substance. DUYSENS, lui, a évalué celle du transfert de l'« isomère » *a* vers l'« isomère » *b* de la chlorophylle à 1/300 seulement de celle *a* vers *a*.

De plus, les études de DUYSENS sur *Chlorella* lui ont permis d'estimer l'efficacité du transfert d'énergie de la chlorophylle *b* vers l'isomère *a* à 100 % (mesurée à 670 $m\mu$ pour une excitation de 650 $m\mu$), et celle du transfert caroténoïde vers chlorophylle *a* à 44 %.

Le chevauchement des bandes est également considérable entre phycobiline et chlorophylle, puisque la fluorescence de la première s'étend aux bandes d'absorption de la seconde ; l'efficacité de ce transfert peut être totale tandis que l'on évalue nettement plus bas celle du transfert entre caroténoïdes et phycobiline ou chlorophylle.

La plupart des travaux dirigés vers ce problème ont été effectués sur plantes inférieures. Les quelques rares concernant les Angiospermes sont de peu de précision. On comprend aisément les difficultés rencontrées par les chercheurs lorsque l'on sait que les pigments étudiés possèdent eux-mêmes une certaine fluorescence et que celle-ci est bien malaisée à séparer de celle de la chlorophylle *a*.

Nous bornerons donc là cette revue de la littérature en exprimant le souhait de voir les quelques points encore mal connus, parfaitement éclaircis et ce, dans un avenir très proche.

En conclusion :

Il semble que ce ne soit plus seulement les longueurs d'onde absorbées par la chlorophylle *a* qui soient efficaces au point de vue photosynthèse : chlorophylle *b*, *c* et *d*, pigments divers (caroténoïdes etc...) joueraient également un rôle, ne serait-ce qu'en absorbant des radiations inutilisables par la chlorophylle *a*, puis en transformant ces radiations, c'est-à-dire en transmettant aux substances voisines des radiations d'une autre longueur d'onde. Ces nouvelles radiations pourront, peut-être, servir à la chlorophylle *a* pour la photosynthèse, bien que celles dont elles proviennent soient, en fait, incapables à jouer ce rôle. Ce ne serait donc plus uniquement les longueurs d'onde absorbées par la chlorophylle *a* qui détermineraient le processus de l'assimilation chlorophyllienne, mais, en fait, toutes les radiations susceptibles, lors de leur absorption par un pigment quelconque de la plante, d'être transformées, à plus ou moins brève échéance, en radiations efficaces pour la chlorophylle. Il a, en effet, été définitivement établi que, chez des plantes déterminées, certains pigments fonctionnent pendant la photosynthèse comme « absorbants » de radiations, celles-ci étant alors transmises à la chlorophylle par fluorescence.

Il convient, par conséquent, de connaître les radiations absorbées par tous ces pigments et constituants foliaires, en plus de celles convenant à la chlorophylle *a*. Cela rend la détermination qualitative des rayons actifs pour la photosynthèse à peu près impossible et d'ailleurs vraisemblablement inutile.

Pouvons-nous conclure que toutes les radiations visibles sont efficaces au même degré ? Nous ne le croyons pas, la grande inconnue restant : comment se fait la transformation des radiations absorbées par les pigments autres que la chlorophylle *a* et quel en est le rendement quantitatif ?

Cette longue étude bibliographique de la photosynthèse, si elle ne nous permet pas de conclure quant à l'efficacité de telle ou telle longueur d'onde, a cependant comme résultat certain le fait de nous forcer à interpréter très prudemment les théories modernes et surtout à traiter notre problème sans dépasser le niveau *matériau*, c'est-à-dire sans nous risquer à aborder les phénomènes se passant dans l'enceinte, au niveau de la plante.

Comme on peut s'en rendre compte aisément, et sans pour cela nous écarter du but que nous nous sommes proposé d'atteindre, nous avons été forcé d'entrer dans un certain nombre de détails arides au sujet des nouvelles théories concernant la photosynthèse.

Il était indispensable de nous faire une idée exacte de l'incidence de cette nouvelle façon de voir sur notre problème particulier. Et comme les auteurs modernes, même RABINOWITCH, ne concluent jamais dans le sens que nous désirerions (un changement dans le spectre incident est-il réellement susceptible de modifier le phénomène de photosynthèse et si oui, dans

quel sens?), nous avons été contraint de faire nous-même un semblant de synthèse — rapide mais exacte, croyons-nous — valable tout au moins au moment où nous devons mettre le point final à notre étude bibliographique, c'est-à-dire fin 1958.

B. — POINT DE VUE QUANTITATIF (voir p. 231)

Quelle est l'intensité lumineuse minimum pour une croissance (végétative) et un développement (génératif) optima?

Pour répondre à cette question, il importe d'abord de faire la distinction entre *plantes sciaphiles* et *plantes héliophiles*. On conçoit aisément que les végétaux de ces deux catégories auront des exigences nettement différentes, sinon en qualité, tout au moins en quantité de lumière.

FRANCK et LOOMIS (12) donnent, pour deux plantes fort différentes (luzerne et betterave à sucre), un graphique de même allure que celui que nous verrons plus loin. A Salt Lake City, le rendement photosynthétique s'est montré fonction directe de l'énergie lumineuse tant que celle-ci était le facteur limitant, le point maximum (de valeur différente pour les deux végétaux) étant obtenu respectivement pour plus ou moins $0,80 \text{ calg/cm}^2/\text{min.}$ pour la luzerne et plus ou moins $0,70 \text{ calg/cm}^2/\text{min.}$ dans le cas de la betterave, soit environ 50 % de l'intensité solaire maximum relevée à Salt Lake City (à 40° lat. Nord). Dans les circonstances de cette expérimentation, l'intensité optimum, moitié de la valeur maximum reçue, se situe donc aux environs de $0,75 \text{ calg/cm}^2 \text{ min.}$ c'est-à-dire $\pm 520 \text{ watt/m}^2$ soit $5,2 \cdot 10^5 \text{ erg/cm}^2/\text{sec.}$ ce qui est très élevé.

LUNDEGARDTH (23) donne les courbes d'assimilation d'une plante d'ombre (*Oxalis*) et d'une plante de lumière (*Nasturtium*) (voir fig. 7).

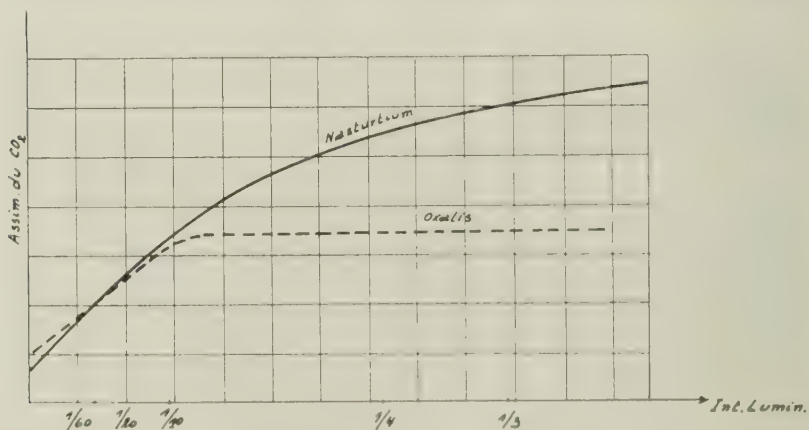


FIG. 7. — Intensité de l'assimilation chlorophyllienne d'une plante d'ombre (*Oxalis*) et d'une plante de lumière (*Nasturtium*) en fonction de l'éclairement maximum d'un jour clair d'été (Lundegardth).

Nous voyons qu'aux faibles éclairagements, la vitesse de la photosynthèse est proportionnelle à l'intensité lumineuse ; lorsque l'éclairement augmente, le comportement des deux types de plantes devient très différent : la courbe représentative des plantes héliophiles s'élève d'une façon continue jusqu'à l'intensité solaire d'un jour clair d'été en Suède méridionale (rappelons que Stockholm est à plus ou moins 60° lat. Nord), tandis qu'après l'ascension correspondant aux éclairagements moyens, la courbe des plantes sciaphiles s'infléchit progressivement, alors que 1/10 seulement de l'intensité maximum possible est atteinte.

Si nous tenons compte des variations de latitude entre Salt Lake City et Stockholm, nous pouvons dire que les résultats obtenus par ces différents chercheurs correspondent d'une manière satisfaisante.

Avant d'essayer de conclure, disons encore que la lumière n'agit pas seule, mais qu'il est nécessaire d'envisager l'interaction de plusieurs facteurs (lumière, T°, CO₂ par exemple). A éclairement solaire maximum, la photosynthèse est limitée par les disponibilités en CO₂ et est donc fonction à la fois de la T° et de la concentration en anhydride carbonique de l'air.

Il est enfin intéressant de constater que, en pratique, la base de calcul pour l'éclairage artificiel des plantes est la suivante, quelle que soit la lampe utilisée : 300 W/m² (de consommation en courant) ; le nombre de lampes ou tubes par unité de surface varie donc en fonction de la puissance consommée. Cet ordre de grandeur nous rapproche d'ailleurs de celui donné par PIQUER à savoir :

1) pour des tomates, éclairage d'appoint d'environ 30 W/m² (énergie lumineuse effectivement rayonnée) ce qui donne des résultats pouvant être considérés comme ceux obtenus au mois d'avril-mai ;

$$(50 \text{ Watt/m}^2 = 5.10^4 \text{ erg/cm}^2/\text{sec.} = 0.072 \text{ cal/cm}^2/\text{min.})$$

2) pour des radis, *Xanthium*, *Soja*... 60 à 70 W/m² pour obtenir une croissance satisfaisante.

2. — Influence de la lumière « visible » sur l'apparition de la vitamine C

Si nous consacrons un paragraphe du présent travail à la vitamine C, c'est que trop souvent, pour ne pas dire toujours, chercheurs et praticiens n'envisagent que le côté rendement (quantitatif) d'une culture. Bien peu de techniques modernes sont axées sur le souci non pas d'obtenir beaucoup, mais bien de *bons* produits. Comme beaucoup de fruits et de légumes consommés crus, le sont pour leur richesse en vitamine, particulièrement en

vitamine C, il importe de connaître le rapport qui existe entre la lumière (sa nature, son intensité) et l'apparition des-dites vitamines.

Remarquons d'abord que le problème est souvent tranché d'une manière bien arbitraire par les médecins qui partent du principe que « si le fruit n'a pas mûri au soleil, il ne contient pas de vitamine C ».

Voyons ce que nous pouvons trouver dans la littérature :

1) MOLDTMANN (25) lie l'apparition de la vitamine C dans les fruits à la présence de chlorophylle (les plantes sans chlorophylle : *Lathraea*, *Orobanche*, partie fertile d'*Equisetum arvense*... n'en forment jamais) ; il réfute l'opinion courante selon laquelle ce seraient les U.V. qui détermineraient la teneur en vitamine C des végétaux, en liant cette dernière directement à l'action 1 — de la lumière visible, [rares sont les auteurs de publications parues avant 1940 qui distinguent diverses portions du « visible » ; sans doute est-ce le manque de possibilités qui les oblige à se limiter à l'ensemble de cette zone ?] (pas de vitamine dans les portions de végétaux ayant vécu un certain temps à l'obscurité) ; 2 — de la teneur en CO₂ de l'air (courbe de formation de vitamine C en forme de cloche, le sommet correspondant au maximum photosynthétique) et enfin 3 — de la température, dont l'incidence est elle-même liée à la nature de la plante.

D'après cet auteur, c'est donc « le visible » qui détermine la richesse des végétaux en vitamine C.

Notons d'ailleurs que MOLDTMANN a montré que la teneur en vitamine C n'augmente pas toujours dans le fruit qui mûrit (par exemple, elle reste égale dans la tomate et diminue chez le pois).

2) ROBINSON (34) ayant observé que les fraises portées par des plants partiellement ou totalement soustraits à l'action de la lumière au cours de leur maturation, sont toujours plus pauvres en vitamine C que celles mûries sur plantes normalement exposées, en déduit que les feuilles jouent un rôle dans la formation de l'acide ascorbique (ou de ses précurseurs immédiats) du fruit, et que c'est la partie visible du spectre qui est intéressante, liée toutefois qu'elle est dans son action, à d'autres facteurs comme la richesse du sol. D'autre part, à la suite d'essais avec lampes et filtres mettant à la disposition des plantes une très large bande de lumière, surtout visible, avec un maximum vers 500 m μ , le même auteur nie toute participation de l'U. V. de longueur d'onde inférieure à 370 m μ et de l'Infra-rouge supérieur à 1.000 m μ , et n'accorde qu'un degré d'action très limité à l'Infra-rouge de 750 à 1.000 m μ , dans le phénomène d'apparition de l'acide ascorbique dans les fraises.

3) EZEL (11) confirme les dires de ROBINSON, tandis que LE RICHE semble du même avis que MOLDTMANN puisqu'il conclut à l'utilisation du glucose

dans la synthèse de l'acide ascorbique et que COMBES R. (8), en 1910 déjà, reliait éclaircissement (visible) intense et bonne maturation des fruits.

Nous croyons pouvoir conclure, avec ROBINSON (34) que l'apparition de la vitamine C dépend davantage du « visible » que de toute autre portion du spectre et que, dans ce visible, 2 maxima sont possibles : vers 450 $m\mu$ (violet-bleu) et vers 600 $m\mu$ (orange-rouge). Cela pourrait d'ailleurs expliquer, ne serait-ce qu'en partie, pourquoi les tomates « sous verre » sont toujours, (d'après MURNEEK, MAHARG et WITTWER) moins riches en vitamine C que celles de plein air et pourquoi d'après les mêmes auteurs, les variétés de pommes d'été sont plus riches en acide ascorbique que celles d'automne et d'hiver. Mais n'oublions pas que le facteur spécifique et même variétal peut être dominant.

3. — La lumière visible et la croissance (ou phototropisme)

A l'encontre de ce qui se passe dans les 2 phénomènes étudiés ci-dessus, et pour lesquels une réponse perceptible à un traitement n'est obtenue que lorsque l'intensité lumineuse est relativement grande, réponse d'ailleurs directement proportionnelle à l'éclairement (tant que la valeur de saturation n'est pas atteinte), le phototropisme (comme aussi le photopériodisme) est caractérisé par des exigences lumineuses très faibles et, généralement, par une relation non linéaire entre intensité lumineuse et effets consécutifs.

On admet (M. LA TOISON, 21) que les radiations les plus actives sont celles de la portion à courte longueur d'onde du visible : particulièrement le bleu et le violet. Une plante qui n'est éclairée qu'en lumière rouge, ou avec un excès de rouge (provenant par exemple de l'utilisation, comme source, d'une lampe à incandescence) tend à s'accroître surtout en longueur: les tiges sont minces et longues et le feuillage insuffisant. En un mot, elle présente le phénomène de l'étiollement. Le « bleu » empêche donc un allongement excessif des entrenœuds. (A mettre en relation avec une action semblable des U-V...).

Une distinction est généralement faite par les auteurs : ils étudient séparément le comportement des plantes étiolées et celui des plantes vertes.

a) En ce qui concerne le premier groupe, BLAUW (2), par ses essais sur coléoptile d'avoine, trouve un maximum d'efficacité phototropique vers 450 $m\mu$, et un minimum pour le rouge et l'I-R. JOHNSTON confirme cette thèse et met en évidence la présence d'un double maximum d'efficacité à 440 et à 475 $m\mu$, suivi d'une brusque chute qui ramène l'action des bandes 500 $m\mu$ à moins de 5 % des précédentes. Du côté U.V., la chute semble moins rapide : à 400 $m\mu$, l'efficacité est encore, selon l'auteur, de 40 % de celle au maximum. GALSTON et BAKER sont également du même avis.

b) Le second groupe de plantes, celles appelées « plantes élevées à la lumière », réagit différemment, d'abord en ce sens que l'intensité de la lumière capable de provoquer une réaction est plus forte et, d'autre part, parce que la diminution de sensibilité se marque également sur la largeur des portions de spectre nécessaires à une réaction végétative. STOLWIJK (non publié) s'accorde à penser que pour la croissance de la pomme de terre et de la tomate, le rouge et le jaune restent parfaitement inactifs alors que le maximum d'efficacité est obtenu avec le bleu puis, en ordre décroissant, le violet et le vert (400 et 550 $m\mu$).

En conclusion, il importe de noter la tendance à un allongement trop rapide sous l'influence du « rouge », étiolement combattu très efficacement par les rayons visibles de courte longueur d'onde (440 à 475 $m\mu$).

Ce phénomène semble d'ailleurs aisé à expliquer si l'on admet que le phototropisme se résume à une action de la lumière sur les auxines, en présence de carotène, substance dont le spectre marque justement un maximum d'absorption dans les courtes longueurs d'onde.

Conservons donc comme acquis le fait que le matériau de couverture qui absorbe une trop grande proportion de bleu et de violet risque de provoquer des troubles de croissance dans les plantes qu'il abrite.

En associant enfin, photosynthèse et phototropisme, nous remarquerons que rouge et bleu sont indispensables à un développement végétatif optimum, étant admise généralement une exigence moyenne en « bleu » pour le phototropisme, de l'ordre de 8.000 $\text{ergs/cm}^2/\text{sec.}$ au minimum (8 Watts/ m^2).

4. — Action de la lumière visible sur le développement génératif (photopériodique)

Nous entendons par là, à la fois l'initiation & l'induction florales et le développement des hampes florales (la « montaison » de certains végétaux).

M. LA TOISON (21), PARKER *et al.* (26, 27, 28), BORTHWICH *et al.* (4), WITHROW *et al.* (49) et bien d'autres auteurs s'accordent à admettre la grande activité du rouge ; certains de ceux-ci insistent davantage sur le fait que généralement le bleu est inactif.

KATUNSKY, WALLRABE et KLESHNIN, par contre, préfèrent la théorie suivant laquelle toutes les longueurs d'onde seraient actives pour autant que leur intensité soit suffisante.

Mais il semble que ces divergences d'opinion soient surtout une conséquence de la nature des végétaux utilisés pour les essais ; nous n'en voulons comme preuve que la théorie exposée par FENKE (13, 14, 15, 16) qui, après avoir étudié de très nombreux végétaux de 1936 à 1943, distingue, parmi

ceux qui sont sensibles à la lumière pour leur développement génératif (donc mis à part les « photo-indifférents »), 4 groupes bien définis :

1) Ceux pour lesquels le rouge est efficace, le bleu ne l'étant pas.

2) Ceux pour lesquels le rouge et le bleu sont efficaces.

Ces 2 classes groupent la majorité des plantes étudiées par l'auteur.

3) Ceux qui réagissent à la lumière blanche, mais non au « rouge » ou au bleu.

4) Ceux pour lesquels seul le bleu est actif, le rouge n'ayant aucune efficacité. Chose curieuse, dans ce groupe rentrent toutes les crucifères, à l'exclusion, dit l'auteur, de toute autre plante.

Nous ne pouvons passer sous silence les travaux de STOLWIJK (38) « Wave length dependence of photomorphogenesis in plants ». Ils sont devenus classiques et bien des données nous sont fournies par cet auteur.

A. Tout d'abord STOLWIJK envisage le cas particulier des Crucifères et note que la réaction photoréceptrice absorbe les radiations de 400 à 500 et de 700 à 900 $m\mu$, affirmation d'ailleurs confirmée par le fait qu'aucune réaction aux radiations de 520 à 700 $m\mu$ (vert, jaune et rouge) n'est observable. (Remarquer la concordance de vue avec FUNKE).

B. Le cas des non-crucifères serait assez différent. Le maximum d'efficacité photopériodique se situe vers 640 $m\mu$ (rouge). De part et d'autre de ce maximum, l'efficacité décroît rapidement vers l'Infra-rouge (le minimum est atteint à 680 $m\mu$ et se maintient dans l'I-R) graduellement vers le bleu, jusqu'à 550 $m\mu$, puis très rapidement, pour passer par un autre minimum à 470 $m\mu$. Après quoi, une légère recrudescence d'activité se marque vers 400 $m\mu$.

Notons que divers auteurs confirment cet état de choses, tout en élargissant tant soit peu les limites. Nous pouvons en conclure que la réaction photopériodique des plantes (autres que les crucifères) est maximale entre 520 et 700 $m\mu$, et minimale dans le bleu et l'I-R, en spécifiant toutefois que les plantes « neutres » fleurissent quelle que soit la longueur d'onde du supplément.

Il nous paraît intéressant de noter que les intensités lumineuses requises par la photopériode sont nettement plus faibles que celles qui sont indispensables à la photosynthèse.

En effet, l'intensité minimum de « l'éclairement photopériodique d'appoint » destiné à modifier la photopériode d'un végétal est de l'ordre de 3 à 100 lux et toujours inférieure à celle de l'éclairement minimum nécessaire pour obtenir une photosynthèse normale. Elle est donc de 100 à 10.000 fois inférieure à celle émise par le soleil à midi.

Le forçage des tulipes, en Hollande, est effectué sous 90 W m², fournis par une lampe à incandescence, 9 heures sur 24, (croissance et développement) tandis que l'éclairage d'appoint pour une induction photopériodique peut ne pas dépasser, en général, 10-15 Watt/m².

On admet généralement que le temps d'illumination nécessaire à une réponse photopériodique est fonction inverse de l'intensité lumineuse utilisée ; en d'autres termes, que 10.000 lux pendant 2 minutes donneraient le même effet que 1000 lux pendant 20' et que 100 lux pendant 200'.

Cependant, J. ANSIAUX a observé que, dans des conditions normales d'expérimentation sur divers végétaux (radis notamment), l'illumination pendant 16 heures par 3 tubes déterminés se révélait plus efficace que celle de 8 tubes pendant 6 heures, ce qui, cependant, correspond dans les deux cas à un total de 48 heures tubes.

Il importe donc que l'on soit très prudent dans ses affirmations et surtout ses généralisations....

5. — Action de la lumière visible sur la morphogénèse

La radiation exerce également une grande influence sur la forme qu'acquière les plantes pendant la croissance. Ici comme partout ailleurs, et peut-être même davantage encore, le premier facteur de variation de réaction ou de comportement est la nature, l'espèce, (la variété) de la plante.

Chaque plante réagit différemment. Et il est, de plus, souvent bien malaisé de dire où finit la croissance (végétative) et où commence la morphogénèse.

A l'obscurité, les plantes s'étioilent ; en lumière rouge, elles s'allongent comme à l'obscurité mais forment de la chlorophylle ; elles sont donc bien vertes, c'est à peu près la seule chose qui distingue leur aspect de celui de plantes privées de lumière pendant leur croissance. En lumière bleue, au contraire, la plupart des plantes restent plus trapues qu'en lumière blanche et augmentent la surface moyenne de leurs feuilles et le nombre de leurs rameaux.

Il convient encore d'ajouter que, d'après ABERG, les réactions morphogénétiques des plantes à la nature de la lumière sont fonction de l'intensité de celle-ci. Cet auteur a démontré que le rouge conduisait à une elongation plus marquée à intensité lumineuse normale qu'à haute intensité ; dans ce dernier cas, c'était le bleu-violet qui jouait le rôle en question. Naturellement, nos connaissances actuelles sur l'action d'intensités lumineuses élevées en lumière monochromatique sont encore très limitées, en regard aux difficultés que l'on rencontre pour obtenir des faisceaux lumineux monochromatiques intenses sur de grandes surfaces. Dès que l'on arrive à des intensités allant de 25 à 10.000 ergs cm² sec., la réaction des plantes aux diverses longueurs d'onde se modifie.

Renvoyons encore aux travaux de G. H. J. VAN SCHOOR, sur *Eloëa canadensis*, *Tradescantia fluminensis* et *Sagittaria sagittifolia* notamment.

Il nous est impossible de reprendre ici les conclusions de cet auteur mais nous tenons à insister sur le fait que des indications morphogénétiques très intéressantes peuvent être trouvées dans ces publications.

Fonction essentiellement de la nature même de la plante étudiée, la réaction morphogénétique d'un végétal est donc impossible à généraliser.

En conclusion, nous pouvons dire que bleu et rouge, utilisés seuls ne permettent qu'une morphogénèse anormale. Mais pour la majorité, sinon la totalité des plantes, les radiations de l'ordre de longueur d'onde du bleu sont indispensables pour obtenir une croissance normale.

6. — Action du visible sur la coloration des organes

Terminons cette étude du rôle biologique du visible par quelques mots concernant l'apparition de la coloration des fleurs notamment et le rôle joué éventuellement par la lumière sur l'intensité de leur coloration.

A notre connaissance, très peu de travaux traitent de ce sujet.

Mettons les chlorophylles à part et voyons rapidement de quelle nature sont ces pigments.

La plupart des fleurs à pétales rouges, bleus ou violets doivent leur teinte aux anthocyanines. Celles-ci colorent aussi beaucoup de fruits et en particulier les drupes et les baies.

On retrouve ces mêmes pigments au niveau d'organes souterrains (racines ou tiges).

Le Dr. J. VERNE, dans son livre « Couleurs et pigments des êtres vivants » (Armand Colin) étudiant les conditions biologiques de la formation des anthocyanes affirme (p. 65) que la lumière paraît être sans action, tandis que oxygène, sucres et sécheresse en favorisent la formation.

Quant aux caroténoïdes, ils sont surtout présents dans les feuilles, parfois dans les fleurs (souci, narcisse, cytise, certaines tulipes... tous jaunes) et dans les fruits.

C'est donc principalement les anthocyanes qui nous intéressent du point de vue fleurs colorées. Il semble par conséquent permis de conclure que la lumière, si elle joue un rôle, ne peut être considérée comme facteur déterminant.

Nous pensons que les caractéristiques génétiques propres à chaque espèce ou variété déterminent bien plus directement la nature de la coloration et même son intensité que les conditions de luminosité pendant la croissance des organes en question.

A l'appui de nos dires, nous pouvons citer les conclusions auxquelles nous sommes arrivés à la suite d'essais au cours desquels des jacinthes, tulipes de teintes diverses, narcisses et jonquilles ont été cultivés en plein air, sous verre et sous polyester stratifié : aucune différence perceptible entre traitements n'a pu être décelée du point de vue coloration des organes floraux.

Conclusions concernant le rôle du visible

Étant donné d'abord la grande variabilité de l'intensité du rayonnement solaire arrivant à la surface de la terre, ensuite l'impossibilité dans laquelle nous nous trouvons de déterminer qualitativement et quantitativement, et ce, avec un certain degré d'exactitude, les besoins des plantes en ce qui concerne la partie visible du spectre, nous croyons nécessaire de nous baser sur un rayonnement visible global (avec peut-être une préférence accordée au « rouge »), rayonnement global pour lequel nous déterminons un ordre de grandeur énergétique, sans distinction de la répartition des différents rayons.

Nous admettons qu'un minimum de 10 W m^2 doit être reçu par les plantes tout au long de l'année et pendant un nombre d'heures suffisant lorsque ces végétaux sont recouverts d'un matériau quelconque (valeur optimum 50 W/m^2 avec une différence de plus ou moins 20 %).

Autrement dit, compte-tenu des pertes par réflexion, en lisant les droites équivalentes aux courbes d'émission solaire (pour différentes hauteurs de l'astre au-dessus de l'horizon), en fonction du spectre d'absorption des différents matériaux étudiés, nous serons à même de déterminer à priori le pourcentage d'absorption moyen (pour le visible) à partir duquel même si le rayonnement solaire est suffisant, le matériau ne peut plus convenir comme abri pour forcerie ou culture hors-saison.

Reportons sur la fig. 8 les droites horizontales représentant l'intensité moyenne de l'émission solaire visible, et ce pour les trois hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon ; d'autre part, calculons la valeur moyenne de l'intensité lumineuse optimum choisie (pour $\lambda \lambda = 100 \text{ \AA}$) ; nous voyons alors que dans le cas d'une transparence parfaite de l'atmosphère, l'intensité moyenne optimum équivaut à celle du soleil lorsque celui-ci fait un angle de 19° au-dessus de l'horizon.

Nous pouvons en conclure que, à temps égal d'illumination (solaire ou artificielle) tant que le soleil ne dépasse pas 20° au-dessus de l'horizon et ce, pendant un temps suffisamment long chaque jour, les plantes ne peuvent croître d'une façon optimale, puisque à l'établissement de ces chiffres il n'a pas été tenu compte de la transparence de l'atmosphère (considérée égale à 100 %) ni des mouvements du soleil au cours de la journée.

Il semble donc que, du début de novembre à la mi-février, (c.-à-d. pendant près de 4 mois) il n'y ait pas suffisamment de lumière pour obtenir une crois-

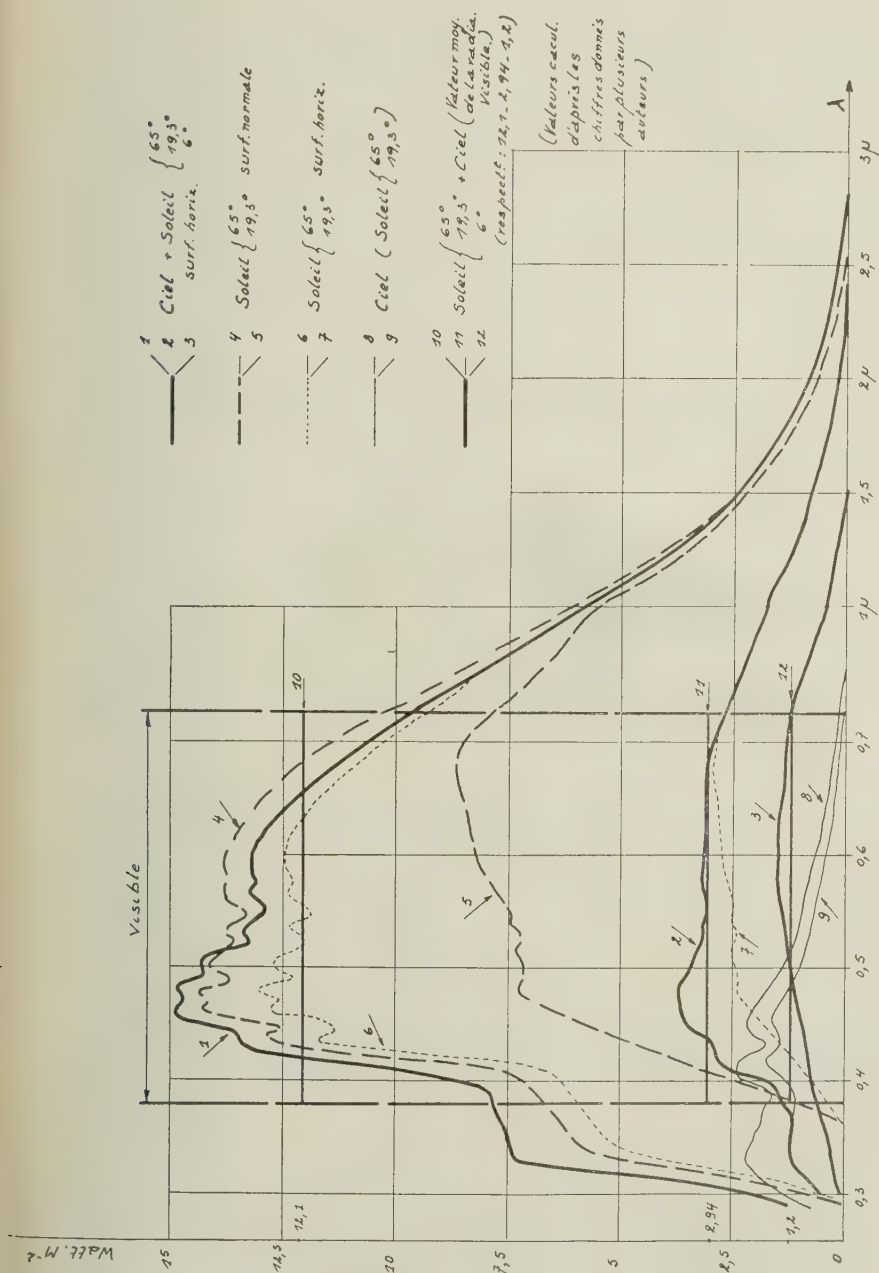


Fig. 8. — Répartition spectrale du rayonnement solaire direct et du ciel au niveau du sol pour des conditions optimales de transparence de l'atmosphère.

sance normale des végétaux moyennement exigeants. Ce qui a comme conséquence que toute absorption supplémentaire de lumière par un matériau provoque *ipso-facto* une diminution proportionnelle du rendement.

Cette diminution sera d'autant plus sensible que les exigences en lumière des plantes cultivées sont plus grandes. Si nous avons affaire à des végétaux héliophiles, l'intensité lumineuse des mois d'hiver étant de l'ordre de $1/10$ à $1/20$ de l'énergie solaire maximale d'un jour d'été, nous nous trouvons automatiquement dans la partie de la courbe de croissance où le rendement est fonction directe de la quantité de lumière reçue.

Si, au cours des mois d'été, il est parfois intéressant de limiter l'intensité lumineuse parvenant aux plantes, et si, dans ces conditions, l'emploi d'un matériau à pouvoir d'absorption de la lumière relativement élevé peut être envisagé, il n'en est pas moins vrai que toute culture effectuée au cours des mois d'hiver doit recevoir le maximum de lumière solaire possible, c'est-à-dire que le matériau formant abri contre le froid doit en même temps qu'un coefficient de conductibilité calorifique très faible, posséder un pouvoir maximum de transmission lumineuse. (U.V., visible et I-R court).

Théoriquement, à moins donc de prévoir un éclairage d'appoint (artificiel), il ne peut être question d'utiliser comme recouvrement pour cultures retardées, forcées ou même assistées, un matériau absorbant la radiation visible dans une proportion de l'ordre de 10 % ! Sinon, le rendement, sans être nul, cela s'entend, ne peut approcher de l'optimum, même si cette « carence » n'est pas visible à première vue et si la notion de rendement optimum est source de discussions possibles.

Rappelons que, à l'heure actuelle, aucune donnée certaine concernant les exigences en lumière des végétaux n'est encore obtenue, que d'autre part, l'intensité lumineuse arrivant au niveau du sol varie dans des proportions fantastiques. Dans ces conditions, il est à peu près impossible de résoudre avec exactitude le problème que nous nous sommes posé ; nous devons nous contenter d'approximations plus ou moins précises. Il nous semble donc que la solution que nous y apportons ci-dessus, bien qu'entachée d'erreurs certaines et sujette à des variations relativement importantes, soit la seule à laquelle il soit possible de prétendre. Nous avons obtenu une idée relativement claire de ce que nous cherchions ; notre but est atteint. La résolution parfaite de ce problème est plutôt l'apanage d'un physiologue spécialisé en rayonnement...

Anticipons quelque peu sur les résultats et conclusions de nos travaux exposés plus loin. Puisque les courtes longueurs d'onde du visible (violet et début du bleu), tout en ayant un rôle indéniable à remplir, semblent moins importantes que les radiations rouges par exemple, il n'est pas déraisonnable d'émettre l'hypothèse que les matériaux qui absorbent davantage ces radia-

tions courtes ou dont le pouvoir diffusant élevé agit davantage sur ces radiations (suivant la loi que nous verrons plus loin) n'influence peut-être pas dangereusement les divers processus biologiques ; en d'autres termes, qu'ils absorbent justement les rayons dont l'efficacité n'atteint pas le degré de celle des radiations de plus grande longueur d'onde et que, par conséquent, cette absorption n'a pas les effets néfastes que l'on serait tenté de lui attribuer.

La même conclusion peut également être tirée, mais semble-t-il avec plus de certitude, quant aux conséquences de l'absorption des U-V solaires par ces mêmes matériaux.

Le problème du salissement des matériaux de couverture peut également être envisagé dans ce sens spécial. Ce sont généralement les courtes longueurs d'onde qui sont éliminées par diffusion (et par absorption) au niveau des particules ; l'élimination plus ou moins totale de ces rayons peut n'avoir pas les conséquences que celles auxquelles on serait en droit de s'attendre si toutes les radiations étaient actives au même degré.

4. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS DE CE CHAPITRE I

Dans l'état actuel des connaissances, les propriétés optimales que doivent présenter les matériaux de couverture des serres, en ce qui concerne leur transparence au rayonnement électro-magnétique (0,3 à 35 μ .), semblent être les suivantes :

1) *réduire le moins possible la quantité de lumière (radiation visible) incidente*, c'est-à-dire posséder un pouvoir de transmission maximum dans le visible.

(Nous savons, en effet, que l'intensité de la lumière solaire arrivant au sol est inférieure à l'optimum de la photosynthèse, au cours des mois d'hiver.)

2) *ne pas modifier défavorablement le spectre d'émission du soleil.*

Ce point est le plus malaisé à définir.

Nous avons vu que l'utilité de l'Ultra-violet est fort controversée mais que, d'une manière générale, il semble que les propriétés des matériaux de couverture, à l'égard de l'U.V. biologique (0,300 à 0,380 μ) soient plus ou moins indifférentes.

Le rôle du visible, lui, est déterminé par la portion du spectre qui conditionne la photosynthèse. Aux idées classiques (action maximum du « rouge », moins forte du « bleu », et minimum des autres couleurs), s'opposent les nouvelles données théoriques touchant la photosynthèse ainsi que les conclusions que l'on peut tirer des premiers essais scientifiques ayant trait à

l'éclairage artificiel : il apparaît de plus en plus que la qualité de la lumière perde progressivement, aux yeux des chercheurs, de son importance (jusque là, considérée comme prédominante), et que cette perte s'effectue à l'avantage de la seule intensité globale du rayonnement visible reçu.

3) posséder une transparence suffisante aux I-R courts (émis par le soleil), tout en étant imperméables aux I-R longs (5 à 35 μ et plus) réémis par le sol et les plantes ; en un mot, présenter ce que l'on appelle l'effet de serre.

Du seul point de vue lumière, seront donc à préférer les matériaux qui, sous épaisseur économique, offriront un spectre le plus proche possible de la transmission totale en ce qui concerne les $\lambda \leq 2 \mu$, et qui s'abaissera le plus rapidement au-delà, pour s'opposer avec le maximum d'efficacité au passage des rayons de plus grande longueur d'onde...

5. — BIBLIOGRAPHIE

(Ouvrages ou articles cités comme références dans le texte).

1. ALLEN F. W. Physical and Chemical changes in the ripening of deciduous fruits. *Hilgardia*, 1932, **VI**, 381-441.
2. BLAAUW A. H. Die Perzeption des Lichtes. *Rec. trav. bot. neerland.*, **V**, 209-372, 1909.
3. BOUILLENNE R. & FOUARGE M. Études d'un nouveau type d'éclairage fluorescent pour la culture en serre. *Bulletin Hort.*, **VIII**, 3, 72-80.
4. BORTHWICK H. A., HENDRICKS S. B., PARKER M. W. Action spectrum for photoperiodic control of floral initiation of a long day plant *Hordeum vulgare*. *Bot. Gaz.*, **CX**, 103-118, 1948.
5. IDEM The reaction controlling floral initiation. *Proc. Nat. Ac. Sci.*, **XXXVIII**, 929-934, 1952.
6. IDEM A reversible photoreaction controlling seed germination *Proc. Nat. Ac. Sci.*, **XXXVIII**, 662-666, 1952.
7. BUNNING F. *Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze*. 3^e Aufl. Springer, Berlin 1953.
8. COMBES A. Détermination des intensités lumineuses optimales pour les végétaux. *Ann. Sc. Nat. Bot.*, 1910, S 9, **XL**, 75-254.
9. DÉRIBÉRÉ M. *Les applications pratiques des rayons Infra-rouges*. Dunod 1954.
10. DUGGAR B. M. *Biological effects of Radiation*. Vol. II, Mac Graw Hill, 1935.
11. EZEL & al. Ascorbic Acid Content of Strawberries. *Food Res.* 1947, **XII**, 510.
12. FRANCK & LOOMIS. *Photosynthesis in plants*. Iowa State College Res., 1949.
13. FUNKE G. L. Proeven over photoperiodiciteit bij verschillend gekleurd licht. I, *Biol. Jaarb.*, **III**, 225-260, 1936.
14. IDEM. II *ibidem*, **IV**, 345-358, 1937.
15. IDEM, III *ibidem*, **V**, 404-424, 1938.
16. IDEM, IV *ibidem*, **VI**, 350-376, 1939.

17. GABRIELSEN E. K. Influence of light of different wave lengths on photo-synthesis in foliage leaves. *Physiol. plant*, **I**, 2, 113-123, 1948.
18. HOLLAENDER A., HENDRICKS S. *Radiation Biology*. Vol. III, Mac Graw Hill, 1956.
19. HOOVER W. H. The dependance of Carbon dioxide assimilation in a higher plant on wave-length of radiations *Smithsonian Misc. Coll.*, VC, 21, 1-13, 1936.
20. HOOVER, JOHNSTON, BRACKETT *Ibidem*, **LXXXVII**, 15, 1-19, 1933.
21. LA TOISON M. U. V.; visible; I-R. *Les lampes et leurs applications*. Eyrolles, Paris, 1956.
22. LECOMTE J. *Le rayonnement Infra-rouge*. Tome I: Applications biologiques, physiques et techniques, Paris, 1948.
23. LUNDEGARDTH H. *Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben*. Jena, 1949.
24. MILLER E. V. et SCHOMER H. A. The effect of U.V. light on subsequent ripening of the fruit of the tomato. *Plant. Phys.*, 1947, **XXII**, 608.
25. MOLDTMANN H. G. Untersuchungen über den Ascorbinsäuregehalt der Pflanzen in seiner Abhängigkeit von inneren und ausseren faktoren. *Planta*, 1939, **XXX**, 297-342.
26. PARKER, HENDRICKS, BORTHWICK and SCULLY. Action spectrum for photo-periodic control of floral initiation of short day plants. *Bot. Gaz.*, **CVIII**, 1-25, 1946.
27. IDEM. Id... Long day plant. *Ibidem*, **CXI**, 242-252, 1950.
28. PARKER & BORTHWICK. Influence of Light on Plant Growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **I**, 1950, 43-49.
29. PIQUER G. Les plantes et les facteurs du Climat. *Bulletin Hort.*, **IX**, 1954.
30. IDEM, Utilisation de la lumière artificielle dans l'élevage des plants de tomates en hiver. *Bull. Inst. agr. et St. Rech. Gembloux*, **XXIII**, 4, 1955.
31. POPP H. W. A physiological study of the effect of light of various ranges of wave length on the growth of plants. *Amer. Jour. Bot.*, **XIII**, 706-736, 1926.
32. REINHOLD J., SCHULZ. Untersuchung über den Einfluss von U.V. glas-sorten auf den Pflanzenertrag in Gartenbau. *Gartenbauwiss.* **II**, 40-78, 1929.
33. IDEM. SCHMIDT, Versuche mit verschiedenen Glassorten in Frühgemüsebau. *Gartenbauwiss.* **III**, 1930.
34. ROBINSON. The effect of sunlight on the ascorbic acid content of strawberries. *Journ. Agri. Res.*, 1949, **LXXVIII**, 257-62.
35. ROODENBURG J. W. M. Das Verhalten von Pflanzen in verschieden farbigen Licht. *Rec. Trav. Bot. Neerl.*, **XXXVII**, 303-374, 1940.
36. IDEM, Nieuwe resultaten met toepassing van kunstmatige belichting. *Med. Dir. Tuinb.*, **XII**, 8, 490-505, 1949.
37. SMITH U. R. A. Effect of light on carotenoïd formation in tomato fruits. *Cornell Agric. Expt. Sta. Memoir*, **187**, 1936.
38. STOLWIJK J. A. J. Wave length dependence of photo-morphogenesis in plants. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen*, **54**, 5, 1954.
39. TERRIEN J. & TRUFFAUX G. *Lumière et végétation*. « La science exacte », Presse Univ. de France.
40. THOMAS M. D. Effect of Ecological Factors in Photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Phys.*, **VI**, 1955, p. 135-155.

41. ULRICH R. *La vie des fruits*. Masson & Cie, 1952.
42. VAN DER VEEN. *Revue Technique Philips* : (1) t. **XI**, 46, 1949. (2) t. **XIV**, 922, 1952.
43. WASSINK E. C. De Lichtfaktor in de fotosynthese en zijn relatie tot andere milieu-factoren. *Meded. Dir. v. d. Tuinb.*, **XI**, 1948, 503-513.
44. IDEM. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis *Adv. in Enzymol.*, **XI**, 91-99, 1951.
45. WASSINK & STOLWIJK Effects of Light quality on plant Growth. *Ann. Rev. Plant Phys.*, **VII**, 1956, 373.
46. WASSINK & KATZ. The initial changes of chlorophyll fluorescence in *Chlorella*. *Enzymologia*, **VI**, 145-172, 1939.
47. WASSINK & STOLWIJK. *Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap. Proc. Serv.*, **C**, 55, 471-88, 1952.
48. WITHROW & BENEDICT H. M. Photoperiodic responses of certain greenhouse annuals as influenced by intensity and wave length of artificial light used to lengthen the Day light period. *Plant. Physiol.* **XI**, 807-829, 1936.
49. WITHROW R. B. & WITHROW A. P. The effect of various wave bands of supplementary radiation on the photoperiodic response of certain plant. *Plant. Physiol.* **XV**, 609-624, 1940.

Nous attirons tout particulièrement l'attention sur les articles et travaux suivants :

50. BLINKS L. R. The photosynthetic fonction of pigments other than chlorophyll. *Ann. Rev. of Plant Phys.*, **V**, 1954, 93 et sqq.
 51. LUMRY R., SPIKES J. D. & EYRING H. Photosynthesis *Ann. Rev. Pl. Phys.*, **V**, 1954, 271 et sqq.
 52. WAREING P. F. Photoperiod in woody Plants, *Ann. Rev. Pl. Phys.*, **VII**, 1956.
 53. DUYSSENS L. N. M. Energy transformations in Photosynthesis. *Ann. Rev. Pl. Phys.*, **VII**, 1956, 25 et sqq.
 54. ROSENBERG J. L. Photochemistry of Chlorophyll. *Ann. Rev. Pl. Phys.* **VIII**, 1957, 115 et sqq.
 55. EMERSON R. The Quantum Yield of Photosynthesis. *Ann. Rev. Pl. Phys.* **IX**, 1958, 1 et sqq.
 56. MAPSON L. Metabolism of Ascorbic Acid in plant. *Ann. Rev. Pl. Phys.*, **IX**, 1958, 119 et sqq.
- et surtout :
57. RABINOWITCH E. *Photosynthesis and related processes*. Interscience Publishers, Inc. N.-Y., Vol. I ; Vol. II part 1 et 2.

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES

par **V. LATHOUWERS**

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'État à Gembloux

Tome I : **L'Amélioration générale**

En réimp.

Tome II : **L'Amélioration du Froment**, 580 pp., 66 fig.

150,00

LE CHÊNE PÉDONCULÉ ET LE CHÊNE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. 283 p., 54 fig., 1 carte en couleurs.

br. 65,00

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASIL.)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par **M. FERRAND**

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INÉA C, Direc. du Centre de Rech. de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris

1 vol. 432 p., 67 fig., 2 hors-texte

110,00

ÉLÉMENTS DE MICROBIOLOGIE GÉNÉRALE ET AGRICOLE

par **G. VERPLANCKE**

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig.

Épuisé

LES BOVINS

par **J. LAHAYE**

et

J. MARCQ

Professeur à l'École de Méd. vétérinaire, à Cureghem. Professeur à l'Institut agronomique à Gx.

Tome I : **La Connaissance du Bétail**, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. 130,00

Tome II : **Volume 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction.** En réimpr.

Volume 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. En réimpr.

TRAITÉ DE PATHOLOGIE MÉDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par **F. LIÉGEOIS**

Professeur à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI-926 p., 4^e édition, 1955.

560,00

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par **R. MEURICE**

Docteur en Sciences. Directeur de la Stat. de Chimie et de Physique Agric. de l'Etat, à Gx.

1 vol. in-8° ill., 280 p.

Épuisé

TRAITÉ D'ÉCONOMIE RURALE

par **A. DELOS**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

Tome I : **La Terre**, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig.,

br. 50,00

Tome II : **Le Capital d'exploitation**, 1 vol. in-8°, 372 pp.,

Épuisé

PRÉCIS DE DROIT VÉTÉRINAIRE

par **F. LIÉGEOIS**

Professeur à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem

1 vol. in-8°, 332 pp.

br. 60,00

TRAITÉ COMPLET D'AVICULTURE

par **J. LAHAYE, J. MARCQ** et **E. CORDIEZ**

Prof. à l'École de Médecine vétérinaire, à Cureghem. Prof. à l'Institut agronomique à Gx.

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-texte en quadrichromie, br. 375,00

LE CHEVAL

par **J. MARCQ**

et

J. LAHAYE

Prof. à l'Institut agron. à Gx. Prof. à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem

Tome I : **Extérieur du Cheval**, 304 pp., 193 fig. br. 175,00

Tome II : **Zootchnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.**
br. 425,00

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par **J. GUILLAUME**

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, ix-215 pp., fig.

br. 56,00

ÉLÉMENTS DE PATHOLOGIE VÉGÉTALE

appliquée à la Phytotechnie

par **Ém. MARCHAL**

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

P. MANIL

et

R. VANDERWALLE

Professeur à l'Institut agron. de Gembloux.

Chargé de cours à l'Inst. agron. de Gembloux.

1 vol. in-8°, xxvi-540 pp., 205 fig.

br. 290,00

ÉLÉMENTS DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par **Ém. MARCHAL**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. in-8°, xvi-344 pp., 131 fig.

br. 225,00

TRAITÉ DE SYLVICULTURE

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig.

br. 260,00

A TRAVERS LES FORÊTS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Étude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par **A. BARBEY**

Expert forestier, Docteur ès Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl.,

br. 40,00